ผลของสภาวะน้ำขังและสภาพร่มเงาต่อการเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกาแฟโรบัสต้า

Effects of Waterlogging and Shade Conditions on Growth and Physiological Responses in Robusta Coffee Trees

ณัฐวิทย์ ญาณพิสิฐกุล

Nattawit Yanpisitkun

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Plant Science
Prince of Songkla University
2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ผลของสภาวะน้ำขังและสภาพร่มเงาต่อการเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกาแฟโรบัสต้า

Effects of Waterlogging and Shade Conditions on Growth and Physiological Responses in Robusta Coffee Trees

ณัฐวิทย์ ญาณพิสิฐกุล

Nattawit Yanpisitkun

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Plant Science
Prince of Songkla University
2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของสภาวะน้ำขังและสภาพร่มเงาต่อการเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกาแฟโรบัสต้า

ผู้เขียน นายณัฐวิทย์ ญาณพิสิฐกุล

สาขาวิชา พืชศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวี เจียรวิภา)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....

(ดร.สุรชาติ เพชรแก้ว)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สายัณห์ สดุดี)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวี เจียรวิภา)

.....กรรมการ

(ดร. สุรชาติ เพชรแก้ว)

.....กรรมการ

(ดร.ธีรวุฒิ ชุตินันทกุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์

.....

(ศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวี เจียรวิภา)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ .....
(ดร.สุรชาติ เพชรแก้ว)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ .....
(นายณัฐวิทย์ ญาณพิสิฐกุล)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ .....
(นายณัฐวิทย์ ญาณพิสิฐกุล)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของสภาวะน้ำขังและสภาพร่มเงาต่อการเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกาแฟโรบัสต้า

ผู้เขียน นายณัฐวิทย์ ญาณพิสิฐกุล

สาขาวิชา พืชศาสตร์

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

สภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงส่งผลให้เกิดฝนตกหนักและน้ำท่วมขังทางภาคใต้ของประเทศไทยและอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นพืชในระยะยาวต่อสวนไม้ผล โดยเฉพาะในสวนกาแฟ รวมถึงระบบการปลูกพืชแบบผสมผสาน ส่งผลโดยตรงให้พืชเกิดความเครียดได้ การศึกษาครั้งนี้เพื่อประเมินผลของสภาวะน้ำท่วมขังระยะสั้นและสภาพร่มเงาต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะใบและรากของต้นกาแฟโรบัสต้า ในการทดลองแรกมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแตกต่างของสภาวะน้ำขัง 3 ระดับ คือ สภาวะน้ำขัง 0 วัน สภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน ใช้ต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าอายุ 1 ปี 3 พันธุ์ (ชุมพร 2 ชุมพร 84-4 และชุมพร 84-5) ศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของรากและใบ ในการทดลองที่สอง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาต้นกาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 ที่ปลูกภายใต้สภาพแสงที่ต่างกัน บันทึกข้อมูลโดยการสุ่มตัวอย่างตั้งแต่ใบคู่แรกของปลายกิ่ง โดยใช้ข้อใบตำแหน่งที่ 1, 3 และ 5 จากปลายกิ่ง ผลการทดลองที่ 1 พบว่า กาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 84-4 และ 84-5 มีแนวโน้มตอบสนองต่อสภาวะน้ำขังได้เร็วกว่าพันธุ์ชุมพร 2 แต่ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์ในด้านการตอบสนองทางสรีรวิทยา (อัตราการสังเคราะห์แสง การเปิดปากใบ และศักย์ของน้ำในใบ) หลังผ่านสภาวะน้ำท่วมขังเป็นเวลา 15 และ 30 วัน ขณะเดียวกัน รากของต้นกล้ากาแฟมีอาการผิดปกติที่เกิดจากน้ำขัง 15 และ 30 วัน รุนแรง เช่น การเกิดช่องว่างอากาศบริเวณเนื้อเยื่อราก รากฝอยมีการตายและหลุดร่วง เป็นต้น ส่วนการทดลองที่ 2 พบว่า สภาพร่มเงาส่งผลให้ต้นกาแฟโรบัสต้ามีการพัฒนาของขนาดปากใบต่ำกว่าสภาพกลางแจ้ง อย่างไรก็ตาม มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตำแหน่งของข้อใบที่ 3 และ 5 มีค่าพื้นที่ใบ พื้นที่ใบจำเพาะ และอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อมวลแห้งมากกว่าข้อใบที่ 1 ในส่วนของลักษณะของปากใบ (ขนาดปากใบ และความหนาแน่นปากใบ) โครงสร้างของใบ (คลอโรฟิลล์ทั้งหมด/พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้ง/พื้นที่ใบ) มีค่าสูงที่สุดในสภาพกลางแจ้ง การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสภาวะน้ำขังระยะสั้นและสภาพร่มเงาต่อการตอบสนองของลักษณะทางกายภาพและสรีรวิทยาส่วนของใบ และรากต้นกาแฟโรบัสต้า และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของต้นกาแฟโรบัสต้าในระบบการปลูกพืชแบบผสมผสานหรือวนเกษตร

Thesis Title Effects of Waterlogging and Shade Conditions on Growth and Physiological Responses in Robusta Coffee Trees

Author Mister Nattawit Yanpisitkun

Major Program Plant Science

Academic Year 2017

ABSTRACT

The recent heavy rainfall and flooding events in southern Thailand may have significant long-term impacts on coffee orchards. The vegetative growth of a Robusta coffee plant in the mixed-fruit tree orchard is affected by multiple environmental factors. Also, it is directly dependent on its capacity to the acclimation to abiotic stress conditions. This study was to evaluate the effects of short period waterlogging and light conditions on the characteristics of leaves and roots in Robusta coffee plants. In the first experiment, seedlings were subjected to three different conditions of substrate water availability; 0-day waterlogging, 15-day waterlogging and 30-day waterlogging. Seedlings of three commercial coffee cultivars (CP 2, CP 84-4 and CP 84-5) were used to measure the physiological responses to water stress in leaves and roots. In the second experiment, Robusta trees were subjected to two different conditions of light. Sampling and measurements were made using the youngest fully expanded leaves of lateral branches. A pair of leaves was selected based on leaf positions (1st, 3rd and 5th nodes). Under waterlogging conditions, the results showed that seedlings symptoms varied with the duration of waterlogging and different varieties. The CP 84-4 and CP 84-5 cultivars tended to had greater sensitivity to waterlogging than CP 2. Cultivars did not show changes in gas exchange parameters (photosynthetic rate, stomatal conductance and leaf water potential) due to waterlogging after 15 and 30 days of treatment. Meanwhile, all seedlings showed more severe symptoms such as including cortex sloughing, black and a lack of fibrous roots. The root damage also was excessive in waterlogged for 15 and 30 day periods. In addition, Robusta coffee leaves from trees grown in the shade had lower values for

stomata size than leaves from trees grown in full sun light. Moreover, there were differed significantly between their leaf positions. Leaves developed at the 3rd and 5th node were larger in structure (leaf area, Specific leaf area and leaf mass per leaf area) than leaves development of leaves at the 1st node. Besides, the highest stomatal traits (stomata density and stomatal size) and leaf structure (leaf mass per leaf area, total chlorophyll per leaf area) were observed in the leave exposed to full sun condition. This study demonstrates that short period waterlogging and light conditions significantly influence on morpho-physiological characteristics of Robusta coffee leaves and roots. Also, these findings could apply a suitable environment for growth development of Robusta coffee in a mixed orchard.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวี เจียรวิภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ดร.สุรชาติ เพชรแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาเสียสละเวลา ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ ด้วยการให้คำปรึกษา คำแนะนำ และแนวทางการแก้ไขปัญหาการทำวิจัย ตลอดจนการเขียนและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จสมบูรณ์ อีกทั้งยังเป็นผู้สนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ตั้งแต่เริ่มต้น รวมไปถึงการให้กำลังใจและข้อคิดในด้านต่าง ๆ ทั้งในด้านงานวิจัย การเรียน และการใช้ชีวิตประจำวัน ทั้งนี้ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สายัณห์ สดุดี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร.ธีรวุฒิ ชุตินันทกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ จากสถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนงานวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงห้องปฏิบัติการนิเวศสรีรวิทยาพืช และแปลงภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาพืชศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความรู้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาพืชศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนนักศึกษาระดับปริญญาโท และปริญญาเอกทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ โดยเฉพาะ คุณพรเทพ ธีระวัฒนพงษ์ คุณละอองดาว พวงแก้ว คุณวิลาพรรณ ทองตะโก ตลอดจนนักศึกษาสาขานิเวศสรีรวิทยาพืชทุกท่านที่มีส่วนช่วยบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ คุณพ่อฉลอง ญาณพิสิฐกุล และคุณแม่วัฒนา ญาณพิสิฐกุล เป็นอย่างสูงที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาและเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดเสมอมา ตลอดจนญาติพี่น้องครอบครัวที่คอยช่วยเหลือจนสำเร็จการศึกษา

ณัฐวิทย์ ญาณพิสิฐกุล

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		(5)
Abstract		(6)
กิติกรรมประกาศ		(8)
สารบัญ		(9)
รายการตาราง		(10)
รายการภาพประกอบ		(13)
รายการตารางภาคผนวก		(15)
บทที่ 1. บทนำ		
บทนำต้นเรื่อง		1
การตรวจเอกสาร		2
วัตถุประสงค์		8
บทที่ 2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ		
วัสดุ และอุปกรณ์		9
เครื่องมือทางสรีรวิทยา		9
อุปกรณ์		10
วิธีการ		11
บทที่ 3. ผล		
การทดลองที่ 1	ผลของสภาวะน้ำขังต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้ากาแฟพันธุ์โรบัสต้า	16
การทดลองที่ 2	ผลของสภาพร่มเงาต่อการตอบสนองทางสัณฐานและสรีรวิทยาของใบต้นกาแฟพันธุ์โรบัสต้า	37
บทที่ 4. วิจารณ์		47
บทที่ 5. สรุป		54
เอกสารอ้างอิง		55
ภาคผนวก		62
ประวัติผู้เขียน		67

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่ออัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูง (RGR_{Height}) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ($RGR_{Stem\ diameter}$) และพื้นที่ใบ ($RGR_{Leaf\ area}$) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (CP 2) ชุมพร 84-4 (CP 84-4) และชุมพร 84-5 (CP 84-5) ณ วันที่ 45 ของการทดลอง	20
2	ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อน้ำหนักแห้งใบ (Leaf dry weight) ลำต้น (Stem dry weight) และราก (Root dry weight) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (CP 2) ชุมพร 84-4 (CP 84-4) และชุมพร 84-5 (CP 84-5) ณ วันที่ 45 ของการทดลอง	21
3	ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่ออัตราส่วนระหว่างส่วนรากต่อส่วนยอด (Root: Shoot ratio) เปอร์เซ็นต์ความเหี่ยว (% Wilting) และเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตรอด (% Survival) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (CP 2) ชุมพร 84-4 (CP 84-4) และชุมพร 84-5 (CP 84-5) ณ วันที่ 45 ของการทดลอง	22
4	ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อความยาวปากใบ (Stomatal length) ความกว้างปากใบ (Stomatal width) และความหนาแน่นของปากใบ (Stomatal density) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (CP 2) ชุมพร 84-4 (CP 84-4) และชุมพร 84-5 (CP 84-5) ณ วันที่ 45 ของการทดลอง	23
5	ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (A) ชุมพร 84-4 (B) และชุมพร 84-5 (C) ณ วันที่ 45 ของการทดลอง	33

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
6	ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อความหนาชั้นผิวราก (Root epidermis) และความหนาชั้นเนื้อเยื่อราก (Root cortex) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (A) ชุมพร 84-4 (B) และชุมพร 84-5 (C) ณ วันที่ 45 ของการทดลอง	36
7	ผลของสภาพกลางแจ้ง (FS) และสภาพร่มเงา (SH) ต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้าง (Leaf width) ความยาว (Leaf length) และพื้นที่ใบ (Leaf area) ที่ตำแหน่งคู่ใบที่ 1 (1^{st}) คู่ใบที่ 3 (3^{rd}) และคู่ใบที่ 5 (5^{th}) ของต้นกาแฟโรบัสต้า	39
8	ผลของสภาพกลางแจ้ง (FS) และสภาพร่มเงา (SH) ต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งใบ (Leaf dry weight) พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) และน้ำหนักใบจำเพาะ (SLW) ที่ตำแหน่งคู่ใบที่ 1 (1^{st}) คู่ใบที่ 3 (3^{rd}) และคู่ใบที่ 5 (5^{th}) ของต้นกาแฟโรบัสต้า	40
9	ผลของสภาพกลางแจ้ง (FS) และสภาพร่มเงา (SH) ต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวปากใบ (Stomata length) ความกว้างปากใบ (Stomata width) และความหนาแน่นของปากใบ (Stomata density) ที่ตำแหน่งคู่ใบที่ 1 (1^{st}) คู่ใบที่ 3 (3^{rd}) และคู่ใบที่ 5 (5^{th}) ของต้นกาแฟโรบัสต้า	41
10	ผลของสภาพกลางแจ้ง (FS) และแสงร่มเงา (SH) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl_a) ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl_b) ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Chl_{total}) และปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ที่ตำแหน่งคู่ใบที่ 1 (1^{st}) คู่ใบที่ 3 (3^{rd}) และคู่ใบที่ 5 (5^{th}) ของต้นกาแฟโรบัสต้า	43

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
11	ผลของสภาพกลางแจ้ง (FS) และสภาพร่มเงา (SH) ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดต่อพื้นที่ใบ (Chl_{total}/LA) อัตราส่วนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ต่อคลอโรฟิลล์ บี (Chl_a/Chl_b) และอัตราส่วนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดต่อแคโรทีนอยด์ (Chl_{total}/Carotenoid) ที่ตำแหน่งคู่ใบที่ 1 (1^{st}) คู่ใบที่ 3 (3^{rd}) และคู่ใบที่ 5 (5^{th}) ของต้นกาแฟโรบัสต้า	44
12	ผลของสภาพกลางแจ้ง (FS) และสภาพร่มเงา (SH) ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการสังเคราะห์แสง (A) อัตราการคายน้ำ (E) และประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ที่ตำแหน่งคู่ใบที่ 1 (1^{st}) คู่ใบที่ 3 (3^{rd}) และคู่ใบที่ 5 (5^{th}) ของต้นกาแฟโรบัสต้า	46

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ย (±SD, Standard deviation) ที่สภาพกลางแจ้ง (Full-sun light) และสภาพร่มเงา (Shade) ภายในแปลงทดลองภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในช่วงระหว่างวันที่ 4 พฤษภาคม-18 มิถุนายน พ.ศ. 2560 (4 May 17 – 18 Jun 17)	16
2	การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นดินเฉลี่ย (±SD) ในกระถางของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ในช่วงระหว่าง 4 พฤษภาคม-18 มิถุนายน พ.ศ. 2560 (4 May 17 – 18 Jun 17)	17
3	การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิในอากาศเฉลี่ย (Temp) และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ย (%RH) ในช่วงระหว่าง 4 พฤษภาคม-18 มิถุนายน พ.ศ. 2560 (4 May 17 – 18 Jun 17)	17
4	ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะปากใบ (Stomata) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (A) ชุมพร 84-4 (B) และชุมพร 84-5 (C) ณ วันที่ 45 ของการทดลอง	24
5	ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่ออัตราการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic rate) (±SD) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (A) ชุมพร 84-4 (B) และชุมพร 84-5 (C) เป็นเวลา 45 วัน	26
6	ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่ออัตราการคายน้ำ (Transpiration rate) (±SD) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (A) ชุมพร 84-4 (B) และชุมพร 84-5 (C) เป็นเวลา 45 วัน	28
7	ผลของขุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่ออัตราการเปิดปากใบ (Stomatal conductance) (±SD) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (A) ชุมพร 84-4 (B) และชุมพร 84-5 (C) เป็นเวลา 45 วัน	30

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
8	ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อศักย์ของน้ำในใบ (Leaf water potential) (±SD) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (A) ชุมพร 84-4 (B) และชุมพร 84-5 (C) เป็นเวลา 45 วัน	32
9	ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อการตอบสนองทางสัณฐานวิทยาของรากต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (A) ชุมพร 84-4 (B) และชุมพร 84-5 (C) ณ วันที่ 45 ของการทดลอง	35

รายการตารางภาคผนวก

ตารางที่		หน้า
1	ผลชุดของสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่ออัตราการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic rate) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (CP 2) ชุมพร 84-4 (CP 84-4) และชุมพร 84-5 (CP 84-5) เป็นเวลา 45 วัน	63
2	ผลของสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อการคายน้ำ (Transpiration rate) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (CP 2) ชุมพร 84-4 (CP 84-4) และชุมพร 84-5 (CP 84-5) เป็นเวลา 45 วัน	64
3	ผลของสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อการเปิดปากใบ (Stomatal conductant) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (CP 2) ชุมพร 84-4 (CP 84-4) และชุมพร 84-5 (CP 84-5) เป็นเวลา 45 วัน	65
4	ผลของสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อศักย์ของน้ำในใบ (Leaf water potential) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (CP 2) ชุมพร 84-4 (CP 84-4) และชุมพร 84-5 (CP 84-5) เป็นเวลา 45 วัน	66

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

กาแฟโรบัสต้า (*Coffea canephora*) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย (คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค (ภาคใต้), 2560) สามารถปรับตัวได้ดีในพื้นที่ปลูกบริเวณภาคใต้ โดยมีพื้นที่ปลูกมากในจังหวัดชุมพรและระนอง มีสัดส่วนในการปลูกปี พ.ศ. 2558 คิดเป็น 66 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ปลูกกาแฟทั้งประเทศไทย (กรมวิชาการเกษตร, 2561) มีความสำคัญด้านอุตสาหกรรมการผลิตและส่งออกสารกาแฟของประเทศ แต่ในช่วงปี พ.ศ. 2553-2558 ราคากาแฟตกต่ำ เกษตรกรจึงเปลี่ยนสวนกาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น ส่งผลให้ผลผลิตในประเทศลดลงต่อเนื่อง ตรงข้ามกับความต้องการของตลาดการผลิตและแปรรูปภายในประเทศที่มีความต้องการต่อปีเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 1.65 เปอร์เซ็นต์ ต่อปี ปัจจุบันกรมวิชาการเกษตรมีการวางนโยบายแบบแผนเพื่อกำหนดยุทธศาสตร์ชาติด้านกาแฟโรบัสต้า โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ผลผลิตกาแฟภายในประเทศภายใต้กรอบและแนวคิดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ตลอดจนส่งเสริมให้เกษตรกรทางภาคใต้ปลูกกาแฟโรบัสต้าเป็นพืชร่วม ซึ่งการปลูกกาแฟสามารถปลูกได้ทั้งเชิงเดี่ยว (Monocrop) เป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ ได้รับแสงเต็มที่ เชิงผสมผสาน (Mixed orchard) เป็นการปลูกพืชหลากหลายชนิดในแปลงเดียวกัน รวมไปถึงการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกกาแฟเป็นพืชร่วม (Intercrop) เช่น การปลูกกาแฟร่วมยางพารา (ระวี และคณะ, 2558; พงศกร และคณะ, 2560) การปลูกกาแฟร่วมไม้ผล (ระวี และชนินทร์, 2558) ประกอบกับการเพิ่มระบบการจัดการและการดูแลทั้งพืชหลักและพืชร่วม โดยมีเป้าหมายให้มีผลผลิตกาแฟต่อพื้นที่มากกว่า 150 กิโลกรัมต่อไร่ (เดิมประมาณ 100 กิโลกรัมต่อไร่) (กรมวิชาการเกษตร, 2560) ปัจจุบัน กรมวิชาการเกษตร (2561) แนะนำพันธุ์กาแฟ 5 พันธุ์ ได้แก่ ชุมพร 1 ชุมพร 2 ชุมพร 3 ชุมพร 84-4 และชุมพร 84-5 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงและมีความเหมาะสมในสภาพพื้นที่ภาคใต้ แต่มีความอ่อนแอต่อสภาวะน้ำขัง จากการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกกาแฟเป็นพืชร่วม การเลือกพื้นที่ปลูกที่ไม่มีความเหมาะสมหรือมีการระบายน้ำไม่ดี ส่งผลให้ต้นกาแฟเกิดความเครียดน้ำได้ โดยเฉพาะกาแฟโรบัสต้าที่มีการตอบสนองต่อสภาวะน้ำขังได้รวดเร็ว (กรมวิชาการเกษตร, 2560) หากเกิดสภาวะน้ำขังเป็นเวลานาน อาจจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและ

การให้ผลผลิตได้ นอกจากสภาพพื้นที่ปลูกแล้ว การปลูกกาแฟเป็นพืชร่วม ทำให้ต้นกาแฟได้รับปริมาณความเข้มแสงน้อยลง อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของต้นกาแฟได้

จากการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกกาแฟโรบัสต้าเป็นพืชร่วมและสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป มีแนวโน้มทวีความรุนแรงและนานขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2559 พื้นที่ภาคใต้มีรายงานปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่า จากสถิติเดิม (ศูนย์ภูมิอากาศ, 2560) ดังนั้น การศึกษาผลกระทบของสภาวะน้ำขังและสภาพร่มเงา ทำให้สามารถทราบศักยภาพและการเปลี่ยนแปลงทางด้านสัณฐานและสรีรวิทยาของต้นกาแฟ เพื่อประโยชน์ในด้านการแนะนำพันธุ์กาแฟโรบัสต้าที่สามารถปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมดังกล่าวต่อไป

การตรวจเอกสาร

1. ประวัติความเป็นมาของกาแฟ

กาแฟ หรือ คัฟฟา (Kaffa ชื่อเมืองที่พบกาแฟเป็นครั้งแรก) จัดอยู่ในวงศ์ Rubiaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea canephora* มีพื้นที่ปลูกคิดเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ปลูกกาแฟทั้งประเทศไทย มีถิ่นกำเนิดมาจากประเทศเอธิโอเปีย คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค (ภาคใต้) (2560) รายงานประวัติและลักษณะสำคัญของกาแฟโรบัสต้าว่า มีลักษณะผลเป็นช่อเรียงติดกันบริเวณกิ่ง ผลสีแดงลักษณะคล้ายเชอร์รี่ สมัยก่อนนิยมนำเมล็ดมาเคี้ยวสด ต่อมามีการกระจายตัวของต้นพันธุ์กาแฟไปยังประเทศและทวีปอื่น ๆ จนได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในศตวรรษที่ 13 มีการนำเมล็ดกาแฟไปคั่วและนำไปชงเป็นเครื่องดื่มสำหรับชนชั้นสูงในสมัยก่อน ในประเทศไทยสันนิษฐานว่านำมาปลูกในสมัยอยุธยา ส่วนทางภาคใต้สันนิษฐานว่านำมาปลูกในปี พ.ศ. 2447 โดยนำเข้ามาจากประเทศอินโดนีเซีย ปลูกในอำเภอสะบ้าย้อย จังหวัดสงขลา ปัจจุบันการปลูกกาแฟได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นสูงทั้งพันธุ์โรบัสต้าและอราบิก้า แต่สำหรับภาคใต้ของประเทศไทยนั้นนิยมปลูกพันธุ์โรบัสต้ามากกว่า เนื่องจากต้นกาแฟสามารถปรับตัวด้านการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตได้ดี

2. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และพันธุ์กาแฟโรบัสต้า

กาแฟโรบัสต้ามีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่สำคัญ ได้แก่ ลำต้นมีข้อชัดเจน บริเวณข้อจะประกอบไปด้วยตาจำนวน 2 ชุด โดยตาบนจะแตกออกมาเป็นกิ่งนอนที่สามารถให้ผลผลิตได้ ส่วนตาล่างจะแตกออกเป็นกิ่งรอง โดยกิ่งแขนงจะมีคุณสมบัติพิเศษที่เหมือนกับกิ่งหลัก คือ มีตา 2 ชุด ที่สามารถแตกออกเป็นกิ่งรองและกิ่งแขนงที่ 2 ได้ กิ่งที่สมบูรณ์จะให้ผลผลิตประมาณ 6-10 ช่อ ลักษณะของใบเป็นใบเดี่ยว ปลายใบแหลม ก้านใบสั้น รูปทรงของใบขึ้นอยู่กับพันธุ์ของกาแฟ ส่วนใหญ่แล้วใบจะมีอายุเฉลี่ยประมาณ 250 วัน ดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอกมีสีขาว กลิ่นคล้ายมะลิป่า มีกลีบดอก 5 กลีบ และมีกลีบเลี้ยง 5 กลีบ เกสร 5 อัน รังไข่ 2 ห้อง แต่ละห้องมีไข่ 1 ใบ โดยดอกจะเกิดบริเวณซอกของใบในกิ่งรองที่ 1-6 โดยดอกกาแฟสามารถบานต่อเนื่องได้ประมาณ 8-12 วัน หลังจากบานแล้วกลับดอกจะหลุดร่วงและรังไข่พัฒนาเป็นเมล็ด และหากกิ่งรองนั้นออกดอกแล้วจะไม่เกิดดอกที่กิ่งนั้นอีก ระบบรากเป็นรากแก้วและรากแขนง 4-8 รากและรากฝอยจำนวนมาก รากอยู่ลึกลงไปประมาณ 20 เซนติเมตรจากผิวดิน มีรากหาอาหารอยู่ใต้ผิวดินประมาณ 2.5 เซนติเมตร (คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค (ภาคใต้), 2560; กรมวิชาการเกษตร, 2560)

หากกล่าวถึงพันธุ์กาแฟโรบัสต้าในปัจจุบัน พันธุ์กาแฟมีออกมาจำหน่ายในท้องตลาดมากมาย ทั้งพันธุ์การค้าที่ปรับปรุงพันธุ์โดยบริษัทเอกชนและพันธุ์แนะนำที่ปรับปรุงพันธุ์โดยหน่วยงานภาครัฐ ซึ่งแต่ละพันธุ์มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป แต่ทั่วไปหลักในการเลือกพันธุ์ที่จะปลูกของเกษตรกรมักสนใจที่ปริมาณผลผลิตต่อปีเป็นอันดับแรก จากความต้องการพันธุ์กาแฟที่เหมาะสมต่อพื้นที่ปลูก มีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตได้ดีในบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย กรมวิชาการเกษตร (2560) จึงพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์กาแฟโรบัสต้ามาตั้งแต่ พ.ศ. 2532 ด้วยการให้ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพรสำรวจและรวบรวมกาแฟโรบัสต้าพันธุ์ดีจากแหล่งต่าง ๆ ทั่วภาคใต้ เพื่อปรับปรุงคัดเลือกพะชันุ์กาแฟที่มีความเหมาะสมกับความต้องการของเกษตรกร ปัจจุบัน ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพรประสบความสำเร็จในการคัดเลือกออกมาเป็นพันธุ์แนะนำจำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ ชุมพร 1 ชุมพร 2 ชุมพร 3 ชุมพร 84-4 และชุมพร 84-5 แต่มีข้อจำกัดที่ไม่เหมาะสำหรับการปลูกในพื้นที่น้ำท่วมขัง

3. การผลิต การปลูกและการดูแลรักษากาแฟโรบัสต้า

การผลิตต้นกล้ากาแฟปัจจุบันในทางการค้านิยมใช้การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมากกว่า เนื่องจากได้ปริมาณต้นที่ผลิตต่อครั้งจำนวนมากและตรงตามพันธุ์ แต่เกษตรกรยังคงนิยมการเพาะเมล็ดจากต้นพันธุ์ดีกันอยู่ เนื่องจากมีการจัดการง่าย สะดวกและประหยัดค่าใช้จ่าย ซึ่งการเพาะเมล็ดกาแฟควรใช้เมล็ดที่สุกแก่เต็มที่หรือเมล็ดเชอรี่ (สีแดง) นำมาบีบและล้างเมือกบริเวณโดยรอบเมล็ดออกแล้วนำมาผึ่งให้แห้ง การเตรียมดินในการเพาะเมล็ดควรใช้ดินผสมขี้เถ้าแกลบอัตราส่วน 1:1 แล้วจึงนำเมล็ดลงปลูกในกระบะทราย เมล็ดใช้เวลางอกประมาณ 30-45 วันหลังจากลงปลูก จากนั้นเมื่อเมล็ดงอกแล้วจะใช้เวลาประมาณ 60 วัน เพื่อแตกใบอ่อนหรือที่เรียกกันว่าระยะปีกผีเสื้อ จากนั้นจึงทำการย้ายลงปลูกในถุงพลาสติก (คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค (ภาคใต้), 2560)

การปลูกกาแฟจำเป็นต้องมีการศึกษาความเหมาะสมก่อนทำการปลูก เนื่องจากกาแฟแต่ละพันธุ์มีความต้องการที่แตกต่างกันออกไป โดยกรมวิชาการเกษตร (2560) แนะนำพื้นที่ปลูกควรมีดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง สามารถระบายน้ำและอากาศได้ดี มีธาตุอาหารโพแทสเซียมสูง มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ประมาณ 4.5-6.5 ด้านสภาพอากาศก็เป็นปัจจัยสำคัญในการเติบโตและให้ผลผลิตเช่นกัน โดยสภาพอากาศที่เหมาะสมควรมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยประมาณ 25-32 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1,500 มิลลิเมตรต่อปี สภาพพื้นที่ควรมีความลาดชันไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ และมีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 800-1,200 เมตร จากระดับน้ำทะเล แต่ไม่เหมาะสำหรับพื้นที่น้ำท่วมขัง นอกจากนี้ ต้นกาแฟต้องการช่วงแล้งประมาณ 8-10 สัปดาห์ เพื่อใช้ในการแตกตาดอก (คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค (ภาคใต้), 2560) โดยทั่วไปแล้วเกษตรกรจะปลูกกาแฟในแปลงปลูกที่ระยะ 3x3 เมตร จะได้ต้นกาแฟจำนวน 177 ต้นต่อไร่ ใช้ต้นกล้าอายุ 6-14 เดือน และควรมีการพรางแสงในช่วงระยะต้นกล้า การบำรุงรักษาควรใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 หรือ 16-16-16 อัตรา 100-300 กรัมต่อต้นต่อปี ในช่วงอายุ 1-3 ปีแรก (กรมวิชาการเกษตร, 2560)

4. สภาวะน้ำขังและความเครียดของพืชจากสภาวะน้ำขัง

ปัจจุบันภาคการเกษตรได้รับผลกระทบจากสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก เช่น สภาวะฝนทิ้งช่วง สภาวะน้ำท่วมที่เกิดจากฝนตกหนักหรือพายุ เป็นต้น แต่ในพื้นที่ภาคใต้มักประสบปัญหาจากสภาวะน้ำท่วมมากกว่า โดยสภาวะน้ำท่วมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ สภาวะที่น้ำท่วมแล้วสามารถระบายออกไปได้ภายในเวลาไม่นาน ส่วนสภาวะที่น้ำท่วมขังเป็นสภาวะที่ดินในบริเวณนั้นอิ่มตัวไปด้วยน้ำตลอดเวลา ไม่สามารถระบายออกไปได้ เมื่อเกิดสภาวะน้ำท่วมไม่ว่า

จะเป็นสภาวะที่ท่วมแล้วสามารถระบายออกไปได้หรือท่วมขังเป็นเวลานาน จะส่งผลโดยตรงต่อระบบโครงสร้างดินในบริเวณนั้น โดยน้ำจะไปแทนที่ช่องอากาศที่ว่างอยู่ในดิน ซึ่งในธรรมชาติของดินนั้นจะมีช่องว่างเพื่อให้รากพืชถ่ายเทอากาศ เมื่อดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ รากพืชจะเริ่มการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน เกิดเป็นสารประกอบจำพวกแอลกอฮอล์ส่งผลให้เกิดภาวะเป็นพิษต่อเซลล์พืช ส่งผลให้เซลล์พืชเหี่ยวและต้นพืชตายลงในที่สุด ซึ่งพืชมีกลไกการตอบสนองต่อสภาวะน้ำขังด้วยการลดค่าทางสรีรวิทยา ตลอดจนการสร้างสารเอทีลีน (Taiz and Zeiger, 1991) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการหลุดร่วงของใบ แต่ถ้าพืชยังคงอยู่ในสภาวะน้ำขังเป็นเวลานานอาจมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตได้ สภาวะน้ำขังที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อกลไกการปรับตัวของพืช ซึ่งพืชแต่ละชนิด แต่ละพันธุ์จะมีความสามารถในการทนทานหรือการปรับตัวต่อสภาวะน้ำขังต่างกันออกไป พืชบางอาจทนต่อสภาวะน้ำขังไม่ได้เลย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่พืชได้รับสภาวะน้ำขังด้วย เช่น Gil และคณะ (2007) รายงานผลของสภาวะน้ำขังนาน 14 วัน ต่อการตอบสนองของอโวคาโด 2 พันธุ์ พบว่า อโวคาโดพันธุ์ Hass มีความทนทานต่อสภาวะน้ำขังได้ดีกว่าพันธุ์ Redox โดยมีค่าการเปิดปากใบ ค่าการสังเคราะห์แสง และศักย์ของน้ำในลำต้นสูงกว่าพันธุ์ Redox และเปรียบเทียบกับการปลูกอโวคาโดในสภาวะน้ำขังและการให้น้ำแบบปกติ พบว่า สภาวะน้ำขังส่งผลให้มีการสร้างมวลชีวภาพลดลงต่ำกว่าสภาวะปกติ สอดคล้องกับ สัญชัย และคณะ (2553) รายงานผลของสภาวะน้ำขังนาน 90 วัน ต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของมะม่วง 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ศก.007 และน้ำดอกไม้สีทอง อายุ 3 ปี พบว่ามะม่วงทั้ง 2 พันธุ์ มีค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง การคายน้ำ ศักย์ของน้ำในใบ พื้นที่ใบ และการสร้างมวลชีวภาพลดลง แต่มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองมีแนวโน้มทนทานต่อสภาวะน้ำขังได้ดีกว่าพันธุ์ศก.007 หมายความว่าความแตกต่างระหว่างพันธุ์มีผลต่อความทนทานต่อสภาวะน้ำได้ต่างกัน นอกจากการเปลี่ยนแปลงทางค่าสรีรวิทยาแล้ว ระยะเวลาที่ได้รับสภาวะน้ำขังมีผลกระทบต่อพัฒนาการของรากพืชด้วย ดังนั้น กลไกการปรับตัวของพืชที่เห็นได้ คือ การปรับตัวเพื่อให้มีความทนทานหรือต้านทานต่อสภาวะน้ำขัง ซึ่งในพืชหลายชนิดจะลดการคายน้ำลง ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงด้วย เมื่อสิ้นสุดสภาวะน้ำขังแล้ว ข้อบ่งชี้ที่บอกถึงความสามารถในการฟื้นตัวหรืออยู่รอดของต้นพืช คือ การเกิดยอดหรือใบอ่อนขึ้นมาใหม่แล้วสามารถพัฒนาไปได้จนกระทั่งใบแผ่เต็มที่ (เพสลาด) ได้ (รวี, 2553)

5. การปรับตัวทางสัณฐานและสรีรวิทยาของพืชจากสภาวะน้ำขัง

สภาวะน้ำขังส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืช ซึ่งสภาวะน้ำขังเป็นความเครียดน้ำที่เกิดขึ้นกับพืช ทำให้พืชไม่สามารถนำน้ำมาใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ได้ เมื่อพืชเกิดความเครียดกลไกการตอบสนองเพื่อเอาตัวรอดของพืชจะเริ่มทำงานขึ้น การปรับตัวอันดับแรกที่พืชจะตอบสนอง คือ ลดอัตราการหายใจ (Liao and Lin, 2001) ลดการเปิดปากใบ และลดอัตราการสังเคราะห์แสง (สายัณห์, 2534) โดยการลดค่าทางสรีรวิทยาเพื่อรักษาศักย์ของน้ำในต้น พืชบางชนิดอาจมีการตอบสนองโดยการสร้างรากพิเศษขึ้นบริเวณเหนือผิวน้ำเพื่อช่วยลดผลเสียที่จะเกิดขึ้นกับต้นพืช เนื่องจากรากพืชเป็นส่วนเนื้อเยื่อที่ต้องการอากาศเพื่อการหายใจ การดูดน้ำและธาตุอาหารพืช อาจเกิดรากแขนงที่บริเวณส่วนของโคนลำต้นเหนือผิวน้ำเรียกว่า รากแขนงน้ำ (Adventitious water root) การเกิดรากใหม่ที่มีลักษณะอวบน้ำเรียกว่า Altered soil root หรือในพืชบางชนิดอาจเกิด Stem hypertrophy ช่วยให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อเยื่อรากเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะส่วนที่ติดเนื้อเยื่อที่มีหน้าที่ช่วยในการแลกเปลี่ยนออกซิเจนในรากพืช (Kozlowski and Pallardy, 1984; Kozlowski, 1997) ในไม้ผลหลายชนิดมีความสามารถในการทนทานและการปรับตัวได้ดีต่อสภาวะน้ำขัง เช่น Sena Gomes and Kozlowski (1985) รายงานผลของสภาวะน้ำขังเป็นเวลา 10 วัน ของต้นโกโก้ พบว่า หลังจากได้รับสภาวะน้ำขังเป็นเวลา 10 วัน ต้นโกโก้สามารถฟื้นตัวกลับมามีชีวิตรอดได้ แต่พืชบางชนิดอาจไม่สามารถทนทานต่อสภาวะน้ำขังเลยหรือได้น้อย เช่น เกียรติศักดิ์ (2541) รายงานผลของสภาวะน้ำขังในลองกองต่อเนื่องเป็นเวลานาน 6 วัน พบว่า ต้นลองกองไม่สามารถฟื้นกลับมาได้และตายลงในที่สุด กลไกต่าง ๆ เหล่านี้เป็นการปรับตัวเพื่อให้พืชนั้นสามารถมีชีวิตรอดจากสภาวะน้ำท่วมและช่วยลดผลกระทบจากสภาวะน้ำขังอาจส่งผลให้ผลผลิตลดได้

6. แสงและความเครียดของพืชจากสภาพร่มเงา

แสงเป็นปัจจัยหลักในกระบวนการสังเคราะห์แสง มีคลอโรฟิลล์ที่สำคัญทำหน้าที่เปลี่ยนแสงเป็นพลังงาน (Loh *et al*., 2002) โดยแสงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของต้นพืช มีความเกี่ยวข้องกับการคายน้ำและการเปิดปากใบพืช เป็นต้น เมื่อเริ่มกระบวนการสังเคราะห์แสง เซลล์คุม (Guard cell) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของปากใบให้มีการเปลี่ยนแปลงระดับไอออนโดยการถ่ายเทโพแทสเซียมเข้าไปในเซลล์คุมส่งสัญญาณให้ปากใบเปิด เมื่อปากใบเปิดแล้วจะมีการแลกเปลี่ยนก๊าซและการคายน้ำเกิดขึ้น (Sharkey and Raschke, 1981) เพื่อให้พืชสามารถเริ่มและสิ้นสุดกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ โดยในสภาวะปกติพืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ดีในระดับที่

เหมาะสมต่อความต้องการในการเจริญเติบโต จนกระทั่งมีอัตราการสังเคราะห์แสงเท่ากับหรือมากกว่าอัตราการหายใจ (ดนัย, 2561) นอกจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาแล้ว แสงสามารถส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของพืช เช่น การยืดหาแสงหรือการโน้มเข้าหาแสงของพืชเป็นการปรับตัวเพื่อชดเชยแสงที่สูญเสียไปจากสภาพร่มเงา การตอบสนองและการปรับตัวเหล่านี้สามารถพบได้มากในระบบนิเวศแบบป่า ระบบวนเกษตร ตลอดจนระบบการปลูกแบบพืชร่วม ที่มีการบดบังและการแข่งขันสูงในการเจริญเติบโต (ระวี และคณะ, 2558)

7. การปรับตัวทางสัณฐานและสรีรวิทยาของพืชจากสภาพร่มเงา

ในสภาพแสงปกติพืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ดี (เพียงพอต่อการเจริญเติบโต) ซึ่งโดยรวมแล้วอัตราการสังเคราะห์แสงจะมากกว่าอัตราการหายใจของพืช แต่หากพืชถูกบดบังแสง พืชจะตอบสนองโดยปรับตัวทางสัณฐานและสรีรวิทยาเพื่อชดเชย เช่น การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบ พื้นที่ใบจำเพาะ น้ำหนักใบจำเพาะ ปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อพื้นที่ใบ อัตราการสังเคราะห์แสง และการสะสมน้ำหนักแห้ง เป็นต้น (Osmond *et al*., 1988; Da Matta, 2004) การตอบสนองดังกล่าวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง การคายน้ำ การรักษาระดับศักย์ของน้ำในใบหรือประสิทธิภาพการใช้น้ำ ให้เพียงพอต่อความต้องการในการเจริญเติบโตของพืช การปรับตัวเหล่านี้จะส่งผลต่อการดำรงชีวิตของพืชให้มีศักยภาพเท่าเทียมกับพืชที่ปลูกกลางแจ้งได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Thomas และ Turner (2001) รายงานผลการตอบสนองของต้นกล้วยที่ปลูกภายใต้สสภาพร่มเงา (20 เปอร์เซ็นต์) พบว่า ต้นกล้วยที่ปลูกในสภาพร่มเงามีอัตราการสังเคราะห์แสงที่ใกล้เคียงกับต้นกล้วยที่ปลูกในสภาพกลางแจ้ง ในทางเดียวกัน Salam และคณะ (2002) รายงานผลการศึกษาการปลูกต้นสละร่วมในสวนยางในประเทศมาเลเซีย พบว่า ต้นสละที่ปลูกร่วมกับยางพาราทำให้สละมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงกว่าต้นสละที่ปลูกกลางแจ้ง เช่นเดียวกับ Karine และคณะ (2012) รายงานผลการศึกษาสภาพพรางแสง 40 เปอร์เซ็นต์ ในโรงเรือน (พรางแสง) ต่อตอบสนองทางสรีรวิทยาของกาแฟอราบิก้า พบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการเปิดปากใบที่สภาพร่มเงามีค่าสูงกว่าสภาพกลางแจ้ง และส่งผลให้ใบกาแฟที่สภาพพรางแสงมีปริมาณรงควัตถุมากกว่าเช่นกัน ดังนั้น การปรับตัวเพื่อตอบสนองต่อสภาพแสงที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อให้ต้นพืชสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้สภาพแสงต่ำ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาและสภาวะน้ำขังต่อการเจริญเติบโตและการปรับตัวทางสรีรวิทยาของต้นกาแฟโรบัสต้า

2. เพื่อศึกษาผลของสภาพร่มเงาต่อการเจริญเติบโตและการปรับตัวลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้า

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัสดุ และอุปกรณ์

1. วัสดุ

1.1 วัสดุพืช

(1) ต้นกาแฟโรบัสต้า 3 พันธุ์ อายุ 1 ปี 10 เดือน จำนวน 27 ต้นต่อพันธุ์ ทั้งหมด 81 ต้น ได้แก่ ชุมพร 2 ชุมพร 84-4 และ ชุมพร 84-5

(3) ต้นกาแฟโรบัสต้า พันธุ์ ชุมพร 2 อายุ 5 ปี จำนวน 20 ต้น

1.2 วัสดุปลูก

(1) ดินผสม (หน้าดิน 2 ส่วน : แกลบ 1 ส่วน)

(2) ปุ๋ยคอก (มูลวัว)

(3) ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

2. เครื่องมือทางสรีรวิทยาพืช

2.1 เครื่องวัดความเข้มแสง (PAR meter) Sun System, United states of America

2.2 เครื่องมือบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ Temperature and humidity datalogger รุ่น DT-172, China

2.3 เครื่องวัดความชื้นดิน (Soil moisture sensor) รุ่น WET-2-K1, DELTA-T, United Kingdom

2.4 เครื่องวัดระยะด้วยเลเซอร์ (Laser measure) รุ่น Professional GLM 40, BOSCH, Germany

2.5 เครื่องวัดพื้นที่ใบ (Portable Leaf Area Meter) รุ่น LI-3000C, LI-COR, United states of America

2.6 เครื่องวัดศักย์ของน้ำในใบ (Pressure chamber) รุ่น Model 1000, PMS Instrument Company, United states of America

2.7 เครื่องมือวัดอัตราการเปิดปากใบ (Porometer) รุ่น AP-4, DELTA-T, United Kingdom

2.8 เครื่องมือวัดอัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการคายน้ำของพืช (Photosynthetic system) รุ่น LCi, ADC BioScience, England

2.9 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) รุ่น RXL-4B, OEM, United states of America

2.10 เครื่องวัดความเขียวใบ (Chlorophyll meter) รุ่น SPAD-502 Plus, Minolta, Japan

2.11 กล้องถ่ายภาพดิจิตอล รุ่น W810, Sony, Japan

3. อุปกรณ์

3.1 อุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่าง

(1) เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น ES-1200 HA, Zepper scales LTD, China

(2) เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น Pioneer Series, OHAUS, United states of America

3.2 เครื่องแก้ว ประกอบด้วย

(1) กระบอกตวง

(2) บีกเกอร์

(3) หลอดทดลองปริมาตร 15 มิลลิลิตร

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมตัวอย่างพืช

(1) ถุงพลาสติก ขนาด 6x12 นิ้ว

(2) กรรไกรตัดกิ่ง

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการเจริญเติบโต

(1) เวอร์เนียร์ดิจิตอล

(2) ไม้เมตร

(3) ตลับเมตร

3.5 อุปกรณ์อื่น ๆ

(1) ท่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร จำนวน 10 ท่อ

(2) กระถางดินเผาขนาด 18 นิ้ว จำนวน 81 กระถาง

(3) ถุงพลาสติกแบบมีซิป

(4) ถุงกระดาษสำหรับอบตัวอย่างพืช

วิธีการ

การทดลองที่ 1 ผลของสภาวะน้ำขังต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้ากาแฟพันธุ์โรบัสต้า

เปรียบเทียบผลของสภาวะน้ำขัง 3 ช่วงเวลาต่อการเจริญเติบโตและการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า 3 พันธุ์ วางแผนการทดลองแบบ Split plot โดยจัด Main plot แบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design, RCBD) จำนวน 3 บล็อก บล็อกละ 3 ซ้ำ (9 ต้นต่อซ้ำ) ทั้งหมด 81 ต้น วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดย Main plot คือ พันธุ์ชุมพร 2 (CP 2) ชุมพร 84-4 (CP 84-4) และชุมพร 84-5 (CP 84-5) มี Sub plot คือระยะเวลาน้ำขัง คือ ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ทำศึกษาในแปลงทดลองภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ โดยใช้ต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าอายุ 1 ปี 10 เดือน จำนวน 3 พันธุ์ พันธุ์ละ 27 ต้น ปลูกในกระถางพลาสติกขนาด 12 นิ้ว (ปริมาตร 707 ลูกบาศก์เซนติเมตร) ภายใต้สภาพร่มเงาต้นลองกองที่มีระยะปลูก 6x6 เมตร และต้นสะตอที่มีระยะปลูก 10x10 เมตร ในชุดสภาวะ T0 ให้น้ำในระดับปกติ (ปริมาตร 1 ลิตรต่อวัน) ชุดสภาวะน้ำขัง T15 และ T30 ทำการขังน้ำภายในกระถางดินเผาขนาด 20 นิ้ว (ปริมาตร 1,578 ลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยใช้กระถางพลาสติกที่ปลูกต้นกล้ากาแฟไปแช่ในกระถางดินเผา โดยขังน้ำที่ระดับเสมอผิวดินในกระถางพลาสติก หลังจากได้รับสภาวะน้ำขังไป 15 วัน นำชุดสภาวะน้ำขัง T15 มาฟื้นฟูโดยให้น้ำในระดับปกติและบันทึกข้อมูลการฟื้นตัวเป็นเวลา 30 วัน หลังได้รับสภาวะน้ำขังไป 30 วัน นำชุดสภาวะน้ำขัง T30 มาฟื้นฟูโดยให้น้ำในระดับปกติและบันทึกข้อมูลการฟื้นตัวของต้นกล้ากาแฟเป็นเวลา 15 วัน

1.1 การตอบสนองทางสัณฐานวิทยาของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า

(1) วัดความสูงต้นจากโคนต้นที่ระดับผิวดินจนถึงปลายยอดด้วยตลับเมตร (เซนติเมตร) วัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับความสูงจากโคน 10 เซนติเมตร ด้วยเวอร์เนียดิจิตอล (มิลลิเมตร) วัดความกว้าง ความยาวใบ (เซนติเมตร) และจำนวนใบ (ใบ) ทั้งหมดในต้นกาแฟ เพื่อคำนวณเป็นพื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร) ทั้งต้นด้วยสมการของ ระวี และชนินทร์ (2558) ดังนี้

$$y = 0.6073x+6.3694 \ (r^2 = 0.90)$$

โดย x คือ ค่าความกว้างคูณด้วยความยาวของใบ (ตารางเซนติเมตร)

y คือ ค่าพื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)

บันทึกข้อมูลวันที่ 0 และวันที่ 45 ของการทดลอง แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวนเป็นอัตราการเจริญเติบโต (Relative growth rate, RGR) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าทั้ง 3 พันธุ์

(2) น้ำหนักแห้งใบ ลำต้น และราก วัดด้วยการนำตัวอย่างต้นกล้ากาแฟมาอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง และคำนวนเป็นอัตราส่วนระหว่างรากต่อยอด (Root: Shoot ratio, R:S ratio) ทั้งหมด 27 ต้น

(3) เปอร์เซ็นต์ความเหี่ยวและความมีชีวิต คำนวนจากจำนวนต้นที่แสดงอาการเหี่ยวของใบและยอด และจำนวนต้นที่มีชีวิตรอด ทั้งหมด 81 ต้น บันทึกข้อมูลทุก 15 วัน

(4) เก็บตัวอย่างใบสดและลอกผิวใบ ศึกษาลักษณะ ความกว้างและความยาวปากใบและความหนาแน่นของปากใบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ Optical microscopes กำลังขยาย 400x (เลนส์ใกล้ตา 10x และเลนส์ใกล้วัตถุ 40x) ร่วมกับการวัดขนาดปากใบด้วยแผ่นเทียบแบบ Ocular micrometer

1.2 การตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า

(1) ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic rate, A) และอัตราการคายน้ำ (Transpiration rate, E) วัดด้วยเครื่องมือ Photosynthesis system โดยวัดค่าจากใบเพสสาดหรือคู่ใบที่ 2 ถึง 3 นับจากปลายยอด จำนวน 5 ใบต่อต้น ทั้งหมด 54 ต้น ในช่วงเวลา 09.00-11.00 นาฬิกา บันทึกข้อมูลทุก 3 วัน

(2) ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช (Water use efficiency, WUE) ด้วยการคำนวนจากค่า A/E ของเครื่องมือ Photosynthetic system (Fischer and Tuner, 1978) โดยวัดค่าจากใบเพสสาดหรือคู่ใบที่ 2 ถึง 3 นับจากปลายยอด จำนวน 3 ใบต่อต้น 3 ต้นต่อบล็อกต่อพันธุ์ ทั้งหมด 27 ต้น ในช่วงเวลา 11.00-13.00 นาฬิกา บันทึกข้อมูลทุก 3 วัน

(3) อัตราการเปิดปากใบ (Stomatal conductance, g_s) วัดด้วยเครื่องมือ Porometer โดยวัดค่าจากใบเพสสาดหรือคู่ใบที่ 2 ถึง 3 นับจากปลายยอด จำนวน 5 ใบต่อต้น 6 ต้นต่อบล็อกต่อพันธุ์ ทั้งหมด 54 ต้น ในช่วงเวลา 09.00-11.00 นาฬิกา บันทึกข้อมูลทุก 3 วัน

(4) ศักย์ของน้ำในใบ (Leaf water potential, Ψ_L) วัดด้วยเครื่องมือ Pressure chamber โดยวัดค่าจากใบเพสสาดหรือคู่ใบที่ 2 ถึง 3 นับจากปลายยอด จำนวน 3 ใบต่อต้น 3 ต้นต่อบล็อกต่อพันธุ์ ทั้งหมด 27 ต้น ในช่วงเวลา 11.00-13.00 นาฬิกา บันทึกข้อมูลทุก 3 วัน

1.3 การตอบสนองทางสัณฐานวิทยาของรากต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า

การเปลี่ยนแปลงลักษณะของรากต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า วัดด้วยการเก็บตัวอย่างรากฝอย (บริเวณปลายราก ส่วนที่เนื้อเยื่อยังไม่เจริญเติบโตเต็มที่) นำตัวอย่างรากมาตัดตามขวางให้มีขนาดบางไม่เกิน 10 ไมโครเมตร แล้วนำมาส่องดูความหนาเนื้อเยื่อของชั้นรากด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ Optical microscopes กำลังขยาย 400x (เลนใกล้ตา 10x และเลนใกล้วัตถุ 40x) ร่วมกับการวัดขนาดรากด้วยแผ่นเทียบแบบ Ocular micrometer เพื่อดูขนาดของเนื้อเยื่อ Root cortex และ Root epidermis ของรากต้นกล้ากาแฟทั้ง 3 พันธุ์ และ 3 ระยะเวลาน้ำขัง บันทึกข้อมูลตามระยะเวลาน้ำขัง

1.4 สภาพอากาศและความชื้นดินในแปลงทดลอง

ความเข้มแสง วัดโดยเครื่องมือ Light meter บริเวณทรงพุ่มสะตอและลองกอง และในที่แจ้ง จำนวน 5 ซ้ำต่อครั้ง ในช่วงเวลา 9.00-11.00 นาฬิกา อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศวัดด้วยเครื่องมือ DT-172 Datalogger รายชั่วโมง เป็นเวลา 45 วัน วัดความชื้นดินวัดด้วยเครื่องมือ Wet sensor ที่ความลึก 10 เซนติเมตร จากผิวดิน จำนวน 3 กระถางต่อบล็อกต่อพันธุ์ ทั้งหมด 27 ต้น ในช่วงเวลา 9.00-11.00 นาฬิกา บันทึกข้อมูลทุก 3 วัน

การทดลองที่ 2 ผลของสภาพร่มเงาต่อการตอบสนองทางสัณฐานและสรีรวิทยาของใบต้นกาแฟพันธุ์โรบัสต้า

เปรียบเทียบผลของสภาพความเข้มแสง 2 สภาพและตำแหน่งของคู่ใบ 3 ตำแหน่งต่อการตอบสนองทางด้านสัณฐานและสรีรวิทยาของใบต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า 3 พันธุ์ วางแผนการทดลองแบบ Split plot โดยจัด Main plot แบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) จำนวน 10 ซ้ำ (1 ต้นต่อซ้ำ) ทั้งหมด 20 ต้น วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดย Main plot คือ สภาพแสง สภาพกลางแจ้ง (Full-sun light, FS) และสภาพร่มเงา (Shade, SH) มี Sub plot คือ ตำแหน่งคู่ใบ คู่ใบที่ 1 (1st) คู่ใบที่ 3 (3rd) และคู่ใบที่ 5 (5th) โดยนับคู่ใบที่ 1 จากปลายยอด เป็นใบที่กางออกแล้วและยังมีความมันวาวของใบอยู่ (ดัดแปลงจาก Ashihara *et al*., 1996; Salgado *et al*., 2008) ทำการศึกษาในแปลงทดลองภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ โดยใช้ต้นกาแฟพันธุ์ชุมพร 2 จำนวน 20 ต้น อายุ 5 ปี ที่ปลูกภายใต้สภาพร่มเงา 60 เปอร์เซ็นต์ ของต้นสะตอที่มีระยะปลูก 10x10 เมตร

2.1 ลักษณะสัณฐานวิทยาใบของต้นกาแฟโรบัสต้า

(1) วัดความกว้าง ความยาวใบ (เซนติเมตร) และจำนวนใบทั้งหมดในต้นกาแฟ เพื่อคำนวณเป็นพื้นที่ใบด้วยสมการของ ระวี และชนินทร์ (2558) ดังนี้

$$y = 0.6073x+6.3694 \ (r^2 = 0.90)$$

โดย x คือ ค่าความกว้างคูณด้วยความยาวใบ (ตารางเซนติเมตร)

y คือ ค่าพื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)

(2) น้ำหนักแห้งใบ วัดด้วยการนำตัวอย่างใบไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง เพื่อคำนวณค่าพื้นที่ใบจำเพาะ (Specific leaf area, SLA) จากพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งใบ ค่าน้ำหนักใบจำเพาะ (Specific leaf weight, SLW) คำนวณจากน้ำหนักใบต่อพื้นที่ใบ ค่าความกว้าง ความยาวและความหนาแน่นของปากใบ (Stomatal size and density)

(3) เก็บตัวอย่างใบสดและลอกผิวใบ ศึกษาลักษณะ ความกว้างและความยาวปากใบและความหนาแน่นของปากใบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ Optical microscopes กำลังขยาย 400x

(เลนส์ใกล้ตา 10x และเลนส์ใกล้วัตถุ 40x) ร่วมกับการวัดขนาดปากใบด้วยแผ่นเทียบแบบ Ocular micrometer

2.2 ลักษณะสรีรวิทยาของใบต้นกาแฟโรบัสต้า

(1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช (Chlorophyll content, Chl) โดยการวัดค่าความเขียวใบด้วย Chlorophyll meter เพื่อประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ บันทึกค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl_a) บี (Chl_b) ทั้งหมด (Chl_{total}) และแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) โดยวัดจากใบคู่ที่ 1 3 และ 5 นับจากปลายยอด จำนวน 5 ใบต่อต้น 5 ต้นต่อสภาพแสง ทั้งหมด 15 ต้น ในช่วงเวลา 9.00-11.00 นาฬิกา ด้วยสมการของ ระวี และคณะ (2558) ดังนี้

คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) $y = 0.0056x^2+0.3014x+0.6767$ ($r^2=0.95$)
คลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll b) $y = 0.0014x^2+0.2687x-1.1945$ ($r^2=0.94$)
คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chlorophyll) $y = 0.008x^2+0.5104x+0.281$ ($r^2=0.95$)
แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) $y = 0.0007x^2-0.0094x+0.5439$ ($r^2=0.74$)
โดย x คือ ค่าความเขียวของใบ (SPAD Unit)
y คือ ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

(2) คำนวณและบันทึกค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดต่อพื้นที่ใบ (Chl_{total}/LA) ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ต่อ คลอโรฟิลล์ บี (Chl_a/Chl_b) และค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ (Chl_{total}/carotenoid) จากใบคู่ที่ 1 3 และ 5 นับจากปลายยอด จำนวน 5 ใบต่อต้น 5 ต้นต่อสภาพแสง ทั้งหมด 15 ต้น

(3) ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic rate, A) และอัตราการคายน้ำ (Transpiration rate, E) วัดด้วยเครื่องมือ Photosynthetic system โดยวัดค่าจากคู่ใบที่ 1 3 และ 5 นับจากปลายยอด จำนวน 5 ใบต่อต้น 5 ต้นต่อสภาพแสง ทั้งหมด 15 ต้น ในช่วงเวลา 09.00-11.00 นาฬิกา

(4) ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช (Water use efficiency, WUE) ด้วยการคำนวนจากค่า A/E ของเครื่องมือ Photosynthetic system (Fischer and Tuner, 1978) โดยวัดค่าจากคู่ใบที่ 1 3 และ 5 นับจากปลายยอด จำนวน 5 ใบต่อต้น 5 ต้นต่อสภาพแสง ทั้งหมด 15 ต้น ในช่วงเวลา 09.00-11.00 นาฬิกา

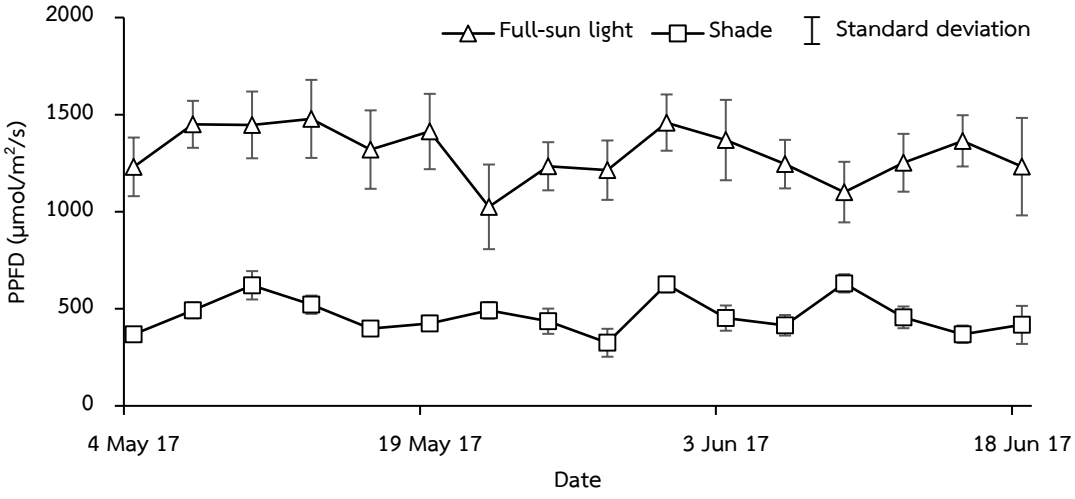
บทที่ 3

ผล

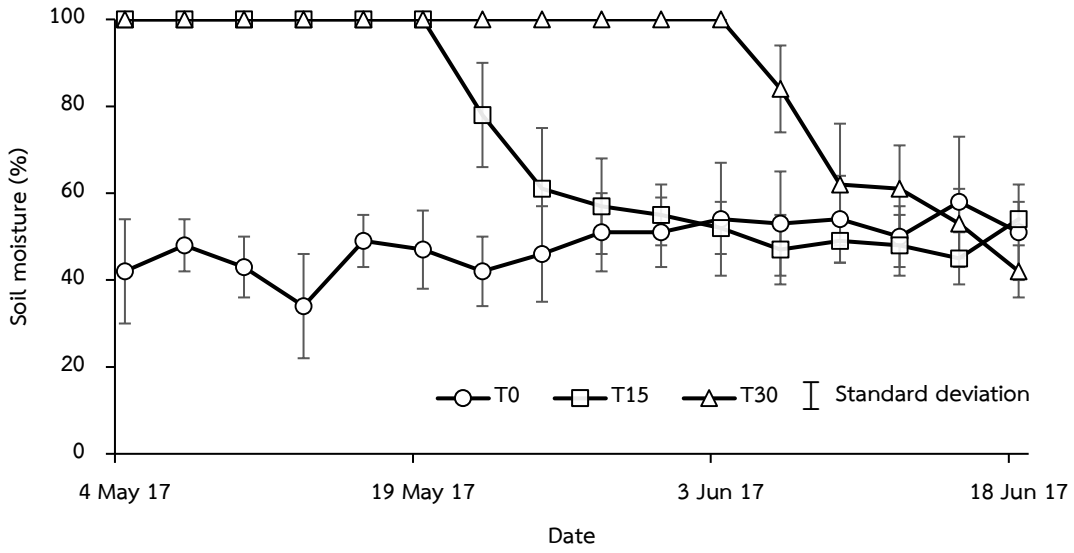
การทดลองที่ 1 ผลของสภาวะน้ำขังต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้ากาแฟพันธุ์โรบัสต้า

1. สภาพอากาศภายในแปลงทดลอง

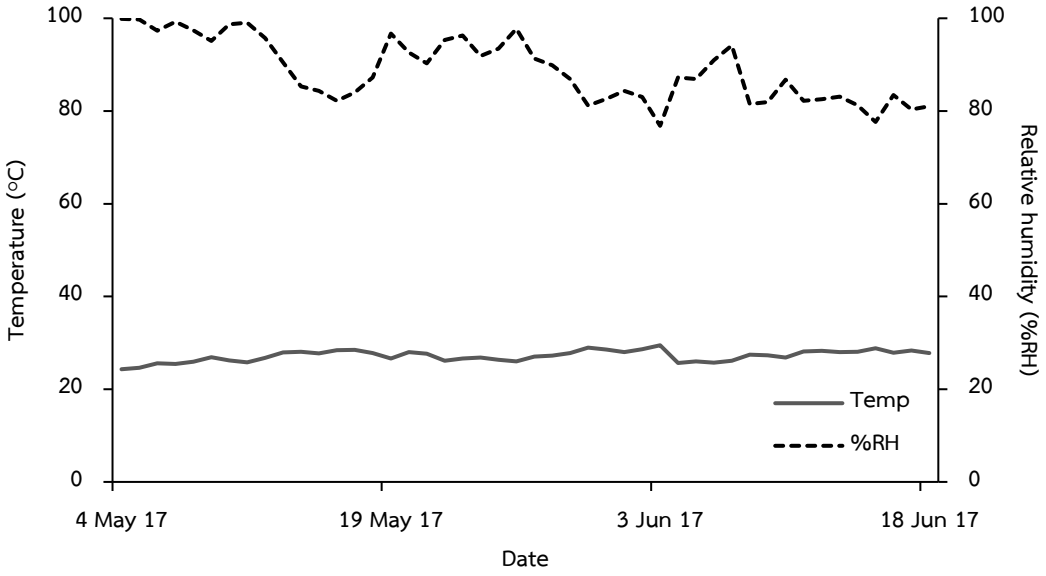
ความเข้มแสง ความชื้นในดิน อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ พบว่า มีความเข้มแสงในสภาพกลางแจ้งมีความเข้มแสงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 865-1,452 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที และมีความเข้มแสงผ่านทรงพุ่มลองกองและสะตอเฉลี่ยอยู่ในช่วง 365-665 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที (ภาพที่ 1) ค่าความชื้นดินในกระถางทดลอง ที่ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีความชื้นดินเฉลี่ยอยู่ในช่วง 32.60-59.52 เปอร์เซ็นต์ ที่ชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน มีความชื้นดินเฉลี่ยอยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อหยุดสภาวะน้ำขังแล้ว ค่าความชื้นดินเฉลี่ยจะลดลงอยู่ในระดับใกล้เคียงกับชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (ภาพที่ 2) ค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยอยู่ในช่วง 23.10-31.25 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ยอยู่ในช่วง 50.60-100.00 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มแสงเฉลี่ย (±SD, Standard deviation) ที่สภาพกลางแจ้ง (Full-sun light) และสภาพร่มเงา (Shade) ภายในแปลงทดลองภาควิชาพืชศาสตร์ คณธทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในช่วงระหว่างวันที่ 4 พฤษภาคม-18 มิถุนายน พ.ศ. 2560 (4 May 17 – 18 Jun 17)



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นดินเฉลี่ย (±SD) ในกระถางของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ในช่วงระหว่าง 4 พฤษภาคม-18 มิถุนายน พ.ศ. 2560 (4 May 17 – 18 Jun 17)



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิในอากาศเฉลี่ย (Temp) และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ย (%RH) ในช่วงระหว่าง 4 พฤษภาคม-18 มิถุนายน พ.ศ. 2560 (4 May 17 – 18 Jun 17)

2. การตอบสนองทางสัณฐานวิทยาของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าในสภาวะน้ำท่วมขัง

2.1 อัตราการเติบโต

อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าในวันที่ 45 ของการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และพื้นที่ใบเฉลี่ย แต่มีแนวโน้มที่พันธุ์ชุมพร 2 มีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 2.0 เซนติเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยอยู่ที่ 0.2 เซนติเมตร สูงที่สุด รองลงมา คือ พันธุ์ชุมพร 84-5 และชุมพร 84-4 ตามลำดับ แต่พันธุ์ชุมพร 84-5 มีพื้นที่ใบเฉลี่ยอยู่ที่ 0.29 ตารางเซนติเมตร รองลงมา คือ พันธุ์ชุมพร 2 และชุมพร 84-4 ตามลำดับ ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 2.7 เซนติเมตร และพื้นที่ใบเฉลี่ยอยู่ที่ 0.36 ตารางเซนติเมตร สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยของชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน อยู่ที่ 0.2 เซนติเมตร สูงกว่าชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และสภาวะน้ำขัง (ตารางที่ 1)

2.2 การสะสมน้ำหนักแห้งและความทนทานต่อสภาวะน้ำขัง

น้ำหนักแห้งของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าในวันที่ 45 ของการทดลอง พบว่า ด้านความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าน้ำหนักแห้งใบและลำต้นเฉลี่ย แต่มีแนวโน้มที่พันธุ์ชุมพร 2 มีค่าน้ำหนักแห้งใบเฉลี่ยอยู่ที่ 11.05 กรัม สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุมพร 84-4 และชุมพร 84-5 ส่วนพันธุ์ชุมพร 84-4 มีแนวโน้มของน้ำหนักแห้งลำต้นเฉลี่ยอยู่ที่ 11.66 กรัม สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุมพร 2 และชุมพร 84-5 ตามลำดับ แต่ค่าน้ำหนักแห้งรากพันธุ์ชุมพร 84-4 มีน้ำหนักแห้งรากเฉลี่ยอยู่ที่ 7.92 กรัม สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ชุมพร 2 และชุมพร 84-4 ตามลำดับ ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน มีค่าน้ำหนักแห้งใบเฉลี่ยอยู่ที่ 12.01 กรัม และน้ำหนักแห้งรากเฉลี่ยอยู่ที่ 7.78 กรัม สูงที่สุดและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดสภาวะน้ำขัง 30 วัน ส่วนน้ำหนักแห้งลำต้นเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มที่ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีค่าน้ำหนักแห้งลำต้นเฉลี่ยอยู่ที่ 11.45 กรัม สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน ตามลำดับ ด้านปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และสภาวะน้ำขัง พบว่า พันธุ์ชุมพร 84-4 ของชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน มีน้ำหนักแห้งรากเฉลี่ยอยู่ที่ 10.24 กรัม สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกคู่ปฏิสัมพันธ์ (ตารางที่ 2)

สัดส่วนใต้ดินต่อส่วนเหนือดิน เปอร์เซ็นต์ความเหี่ยวและเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตรอดของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า 3 พันธุ์ พบว่า สัดส่วนใต้ดินต่อส่วนเหนือดินไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มที่พันธุ์ชุมพร 84-4 มีค่าสัดส่วนใต้ดินต่อส่วนเหนือดินเฉลี่ยอยู่ที่ 0.30 สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุมพร 84-5 และชุมพร 2 ตามลำดับ ด้านเปอร์เซ็นต์ความเหี่ยวพันธุ์ชุมพร 84-5 และชุมพร 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 9.87 เปอร์เซ็นต์ สูงที่สุด รองลงมา คือ พันธุ์ชุมพร 84-4 และด้านเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตรอดพันธุ์ชุมพร 2 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตรอดเฉลี่ยอยู่ที่ 97.53 เปอร์เซ็นต์ สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุมพร 84-4 และชุมพร 84-5 ตามลำดับ ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของส่วนใต้ดินต่อส่วนเหนือดินและเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตรอด โดยชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีแนวโน้มของค่าสัดส่วนใต้ดินต่อส่วนเหนือดินเฉลี่ยอยู่ที่ 0.92 และมีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตรอดเฉลี่ยอยู่ที่ 98.77 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน ด้านเปอร์เซ็นต์ความเหี่ยว ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.00 เปอร์เซ็นต์ สูงที่สุดและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน แต่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับชุดสภาวะน้ำขัง 30 วัน แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และสภาวะน้ำขัง (ตารางที่ 3)

2.3 การตอบสนองทางสัณฐานวิทยาของปากใบ

รูปร่างของปากใบเป็นแบบ vigna-paracytic มีเซลล์คุม (guard cell) จำนวน 2 ชิ้น เป็นวงรี และมีเซลล์ข้างเซลล์คุม (subsidiary cell) ล้อมรอบ 2 ถึง 4 ชิ้น (ภาพที่ 4) การเปลี่ยนแปลงขนาดและความหนาแน่นปากใบในวันที่ 45 ของการทดลอง พบว่า ด้านความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยความยาวปากใบ ความกว้างปากใบ และความหนาแน่นของปากใบ แต่มีแนวโน้มที่พันธุ์ชุมพร 84-5 มีค่าเฉลี่ยความกว้างปากใบอยู่ที่ 9.02 ไมโครเมตร และความยาวปากใบอยู่ที่ 7.81 ไมโครเมตร สูงที่สุด รองลงมา คือ พันธุ์ชุมพร 84-4 และชุมพร 2 ตามลำดับ ส่วนความหนาแน่นปากใบพันธุ์ชุมพร 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 141.29 ปากใบต่อตารางมิลลิเมตร สูงที่สุด รองลงมา คือ พันธุ์ชุมพร 84-4 และชุมพร 84-5 ตามลำดับ ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยความยาวปากใบ ความกว้างปากใบ และความหนาแน่นของปากใบ แต่มีแนวโน้มที่ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีค่าเฉลี่ยความยาวปากใบอยู่ที่ 9.11 ไมโครเมตร และความกว้างของปากใบอยู่ที่ 7.88 สูงที่สุด รองลงมา คือ พันธุ์ชุมพร 84-4 และชุมพร 84-5 ตามลำดับ ส่วนความหนาแน่นปากใบที่ชุดสภาวะน้ำขัง 30 วัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 144.39 ปากใบต่อตารางมิลลิเมตร สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน และ 15 วัน ตามลำดับ แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และสภาวะน้ำขัง (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 1 ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่ออัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูง (RGR_{Height}) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ($RGR_{Stem\ diameter}$) และพื้นที่ใบ ($RGR_{Leaf\ area}$) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (CP 2) ชุมพร 84-4 (CP 84-4) และชุมพร 84-5 (CP 84-5) ณ วันที่ 45 ของการทดลอง

Varieties	RGR_{Height}			Mean[(2)]	$RGR_{Stem\ diameter}$			Mean[(2)]	$RGR_{Leaf\ area}$			Mean[(2)]
	T0	T15	T30		T0	T15	T30		T0	T15	T30	
CP 2	2.7[ns]	1.9	1.3	2.0[ns]	0.2[ns]	0.2	0.3	0.2[ns]	0.38[ns]	0.31	0.11	0.27[ns]
CP 84-4	2.4	1.8	1.4	1.9	0.1	0.2	0.2	0.1	0.34	0.30	0.12	0.25
CP 84-5	2.9	2.0	1.2	2.0	0.2	0.2	0.3	0.2	0.37	0.31	0.18	0.29
Mean[(1)]	2.7A	2.0B	1.3C		0.1[ns]	0.2	0.2		0.36A	0.31B	0.14C	
A		ns				ns				ns		
B		*				ns				*		
A x B		ns				ns				ns		
C.V. (%)		4.56				9.54				11.44		

หมายเหตุ: [(1)] ค่าเฉลี่ยของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า 3 พันธุ์ (A)

[(2)] ค่าเฉลี่ยของจำนวนวันที่ได้รับสภาวะน้ำขัง (B)

[ns] ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันและมีตัวอักษรกำกับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 2 ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อน้ำหนักแห้งใบ (Leaf dry weight) ลำต้น (Stem dry weight) และราก (Root dry weight) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (CP 2) ชุมพร 84-4 (CP 84-4) และชุมพร 84-5 (CP 84-5) ณ วันที่ 45 ของการทดลอง

Varieties	Leaf dry weight (g)			Mean[(2)]	Stem dry weight (g)			Mean[(2)]	Root dry weight (g)			Mean[(2)]
	T0	T15	T30		T0	T15	T30		T0	T15	T30	
CP 2	11.68[ns]	10.89	5.91	11.05[ns]	9.82[ns]	10.65	11.86	10.78[ns]	5.75c	7.94b	6.24c	6.64B
CP 84-4	9.96	13.02	5.91	9.63	12.28	12.28	10.43	11.66	8.75b	10.24a	4.76d	7.92A
CP 84-5	12.94	12.11	6.55	10.53	12.24	10.88	9.14	10.75	7.58b	5.15c	4.03d	5.59B
Mean[(1)]	11.53A	12.01A	7.68B		11.45[ns]	11.27	10.48		7.36A	7.78A	5.01B	
A		ns				ns				*		
B		*				ns				*		
A x B		ns				ns				*		
C.V. (%)		10.45				18.74				17.89		

หมายเหตุ: [(1)] ค่าเฉลี่ยของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า 3 พันธุ์ (A)

[(2)] ค่าเฉลี่ยของจำนวนวันที่ได้รับสภาวะน้ำขัง (B)

[ns] ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันและมีตัวอักษรกำกับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่ออัตราส่วนระหว่างส่วนรากต่อส่วนยอด (Root: Shoot ratio) เปอร์เซ็นต์ความเหี่ยว (% Wilting) และเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตรอด (% Survival) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (CP 2) ชุมพร 84-4 (CP 84-4) และชุมพร 84-5 (CP 84-5) ณ วันที่ 45 ของการทดลอง

Varieties	Root: Shoot ratio			Mean[(2)]	% Wilting			Mean[(2)]	% Survival			Mean[(2)]
	T0	T15	T30		T0	T15	T30		T0	T15	T30	
CP 2	0.26[ns]	0.27	0.26	0.26[ns]	0.00[ns]	3.70	18.52	9.87[ns]	100.00[ns]	96.30	96.30	97.53[ns]
CP 84-4	0.31	0.35	0.25	0.30	0.00	7.40	15.81	21.11	100.00	92.53	92.53	95.02
CP 84-5	0.30	0.21	0.26	0.27	0.00	21.11	15.81	9.87	96.30	88.89	88.89	91.36
Mean[(1)]	0.29[ns]	0.27	0.27		0.00A	7.40A	16.05B		98.77[ns]	92.57	92.57	
A		ns				ns				ns		
B		ns				*				ns		
A x B		ns				ns				ns		
C.V. (%)		15.01				12.45				15.12		

หมายเหตุ: [(1)] ค่าเฉลี่ยของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า 3 พันธุ์ (A)

[(2)] ค่าเฉลี่ยของจำนวนวันที่ได้รับสภาวะน้ำขัง (B)

[ns] ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันและมีตัวอักษรกำกับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4 ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อความยาวปากใบ (Stomatal length) ความกว้างปากใบ (Stomatal width) และความหนาแน่นของปากใบ (Stomatal density) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (CP 2) ชุมพร 84-4 (CP 84-4) และชุมพร 84-5 (CP 84-5) ณ วันที่ 45 ของการทดลอง

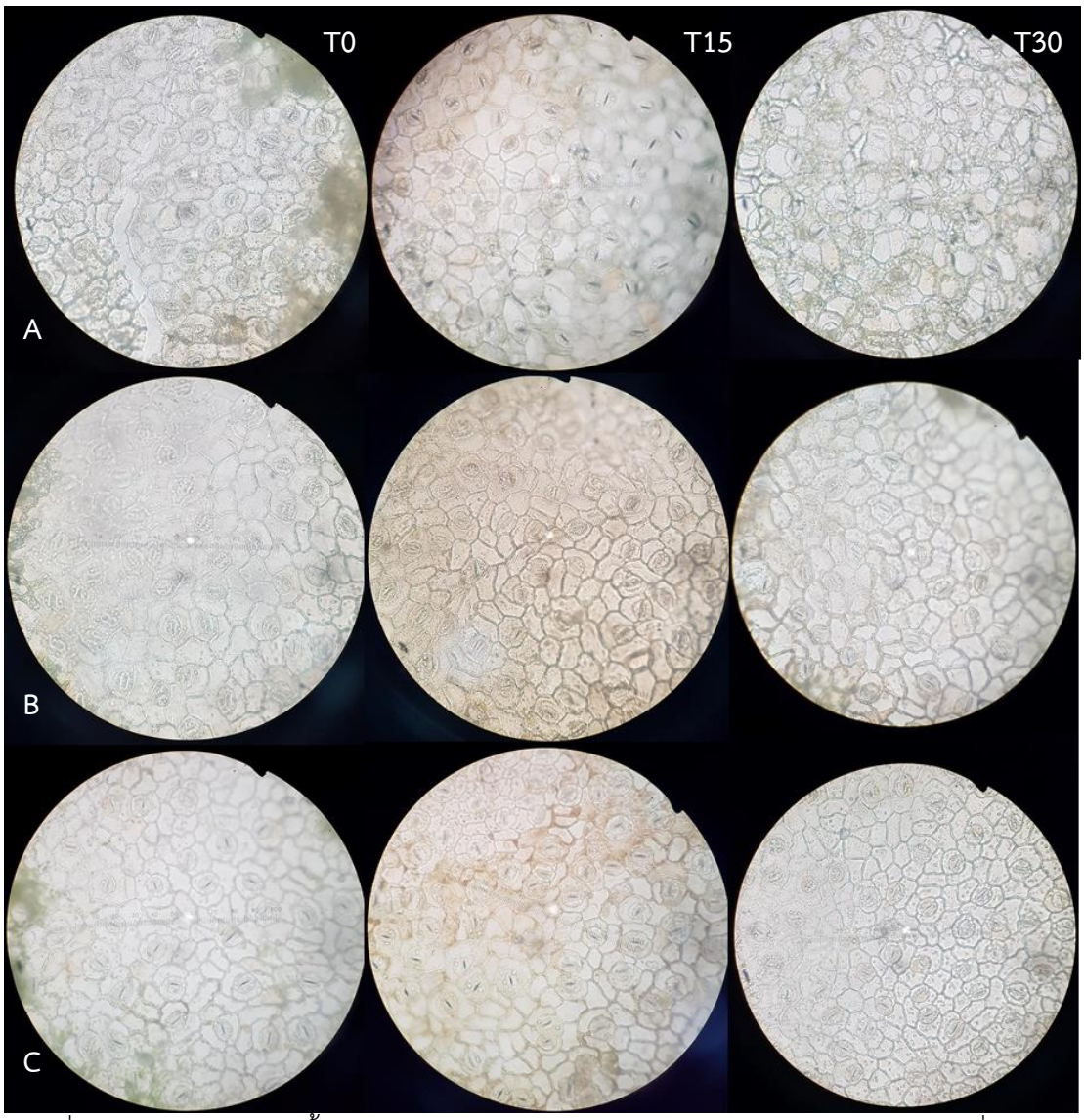
Varieties	Stomatal length (μm)			Mean[(2)]	Stomatal width (μm)			Mean[(2)]	Stomatal density (count mm^{-2})			Mean[(2)]
	T0	T15	T30		T0	T15	T30		T0	T15	T30	
CP 2	9.69[ns]	7.89	8.35	8.64[ns]	7.54[ns]	7.58	7.48	7.53[ns]	144.78[ns]	131.25	147.85	141.29[ns]
CP 84-4	8.98	8.99	8.74	8.90	8.22	7.52	6.98	7.57	132.58	143.25	144.58	140.14
CP 84-5	8.65	9.88	8.54	9.02	7.88	7.98	7.58	7.81	136.98	138.78	140.74	138.83
Mean[(1)]	9.11[ns]	8.92	8.54		7.88[ns]	7.69	7.35		138.11[ns]	137.76	144.39	
A		ns				ns				ns		
B		ns				ns				ns		
A x B		ns				ns				ns		
C.V. (%)		14.65				18.99				14.23		

หมายเหตุ: [(1)] ค่าเฉลี่ยของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า 3 พันธุ์ (A)

[(2)] ค่าเฉลี่ยของจำนวนวันที่ได้รับสภาวะน้ำขัง (B)

[ns] ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันและมีตัวอักษรกำกับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

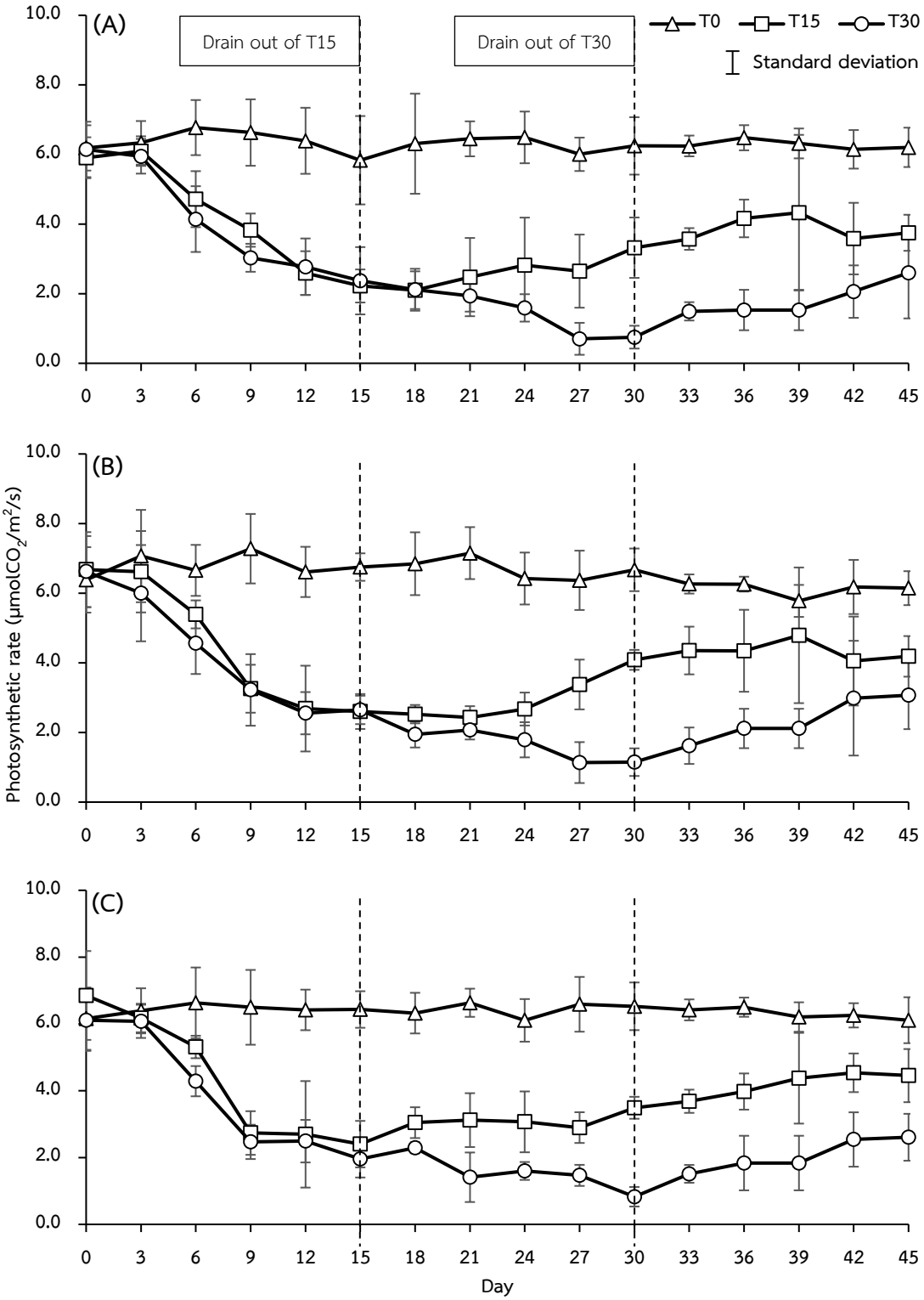


ภาพที่ 4 ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะปากใบ (Stomata) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (A) ชุมพร 84-4 (B) และชุมพร 84-5 (C) ณ วันที่ 45 ของการทดลอง

3. การตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าในสภาวะน้ำท่วมขัง

3.1 การสังเคราะห์แสง

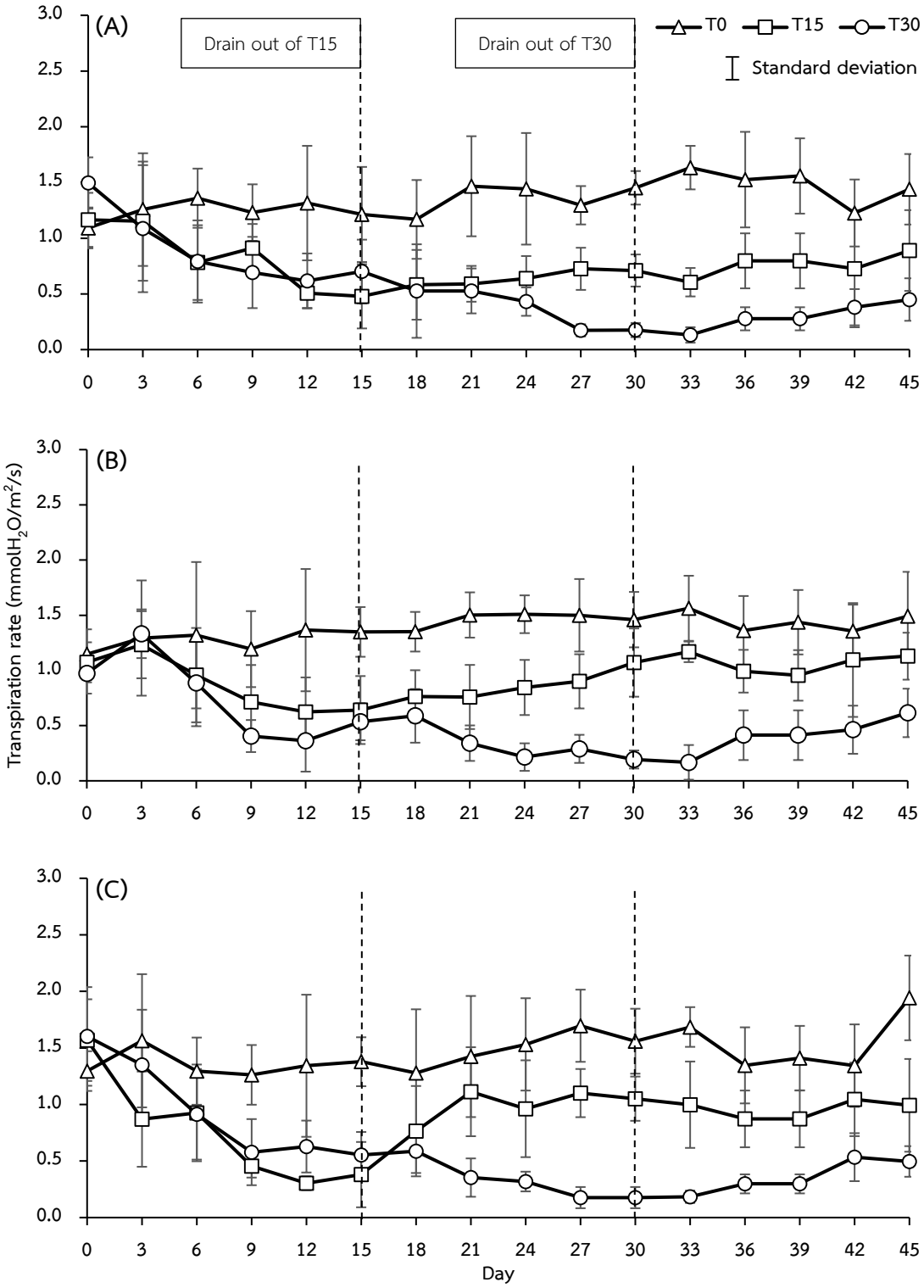
อัตราการสังเคราะห์แสงของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าในวันที่ 15 ของการทดลอง พบว่า ด้านความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ย แต่มีแนวโน้มที่พันธุ์ชุมพร 84-4 มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยอยู่ที่ 3.95 ไมโครโมลคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุมพร 2 และชุมพร 84-5 ตามลำดับ ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีอัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยอยู่ที่ 6.34 ไมโครโมลคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน ตามลำดับ เช่นเดียวกับ วันที่ 30 ของการทดลอง พบว่า ด้านความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญของอัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ย แต่มีแนวโน้มที่พันธุ์ชุมพร 84-4 มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยอยู่ที่ 3.44 ไมโครโมลคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุมพร 84-5 และ ชุมพร 2 ตามลำดับ ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีอัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยอยู่ที่ 6.48 ไมโครโมลคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้ ในชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน ได้รับการฟื้นฟูแล้วเป็นเวลา 15 วัน ในวันที่ 45 ของการทดลอง พบว่า ด้านความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ย แต่มีแนวโน้มที่พันธุ์ชุมพร 84-4 มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยอยู่ที่ 4.47 ไมโครโมลคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุด รองลงมาคือ ชุมพร 84-5 และ ชุมพร 2 ตามลำดับ ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีอัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยอยู่ที่ 6.16 ไมโครโมลคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้ ในชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน ได้รับการฟื้นฟูแล้วเป็นเวลา 30 วัน และชุดสภาวะน้ำขัง 30 วัน ได้รับการฟื้นฟูแล้วเป็นเวลา 15 วัน (ภาพที่ 5 และ ตารางภาคผนวกที่ 1) แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และสภาวะน้ำขัง



ภาพที่ 5 ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่ออัตราการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic rate) (±SD) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (A) ชุมพร 84-4 (B) และชุมพร 84-5 (C) เป็นเวลา 45 วัน

3.2 การคายน้ำ

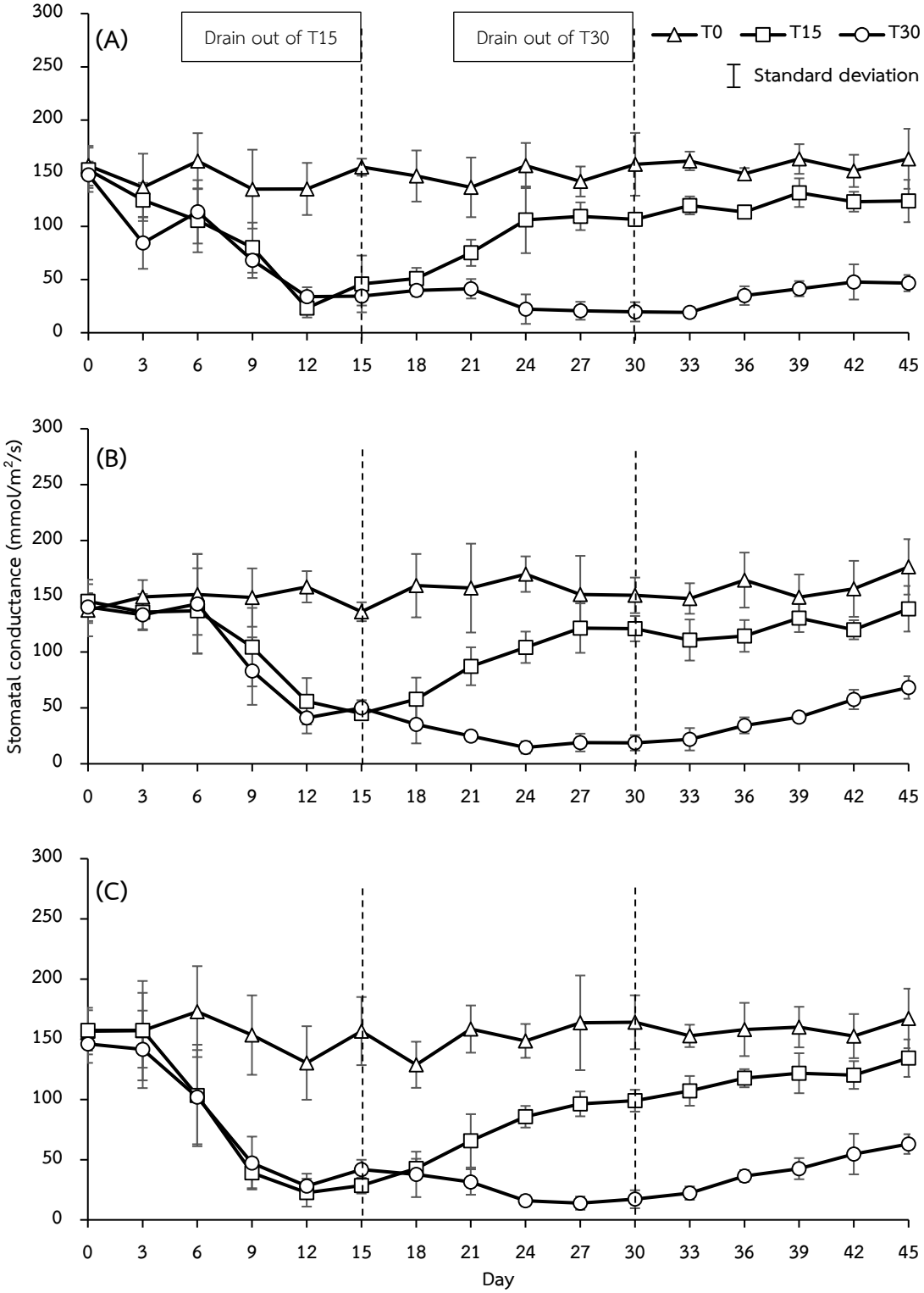
อัตราการคายน้ำของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าในวันที่ 15 ของการทดลอง พบว่า ด้านความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอัตราการคายน้ำเฉลี่ย แต่มีแนวโน้มที่พันธุ์ชุมพร 84-4 มีค่าอัตราการคายน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 0.84 มิลลิโมลน้ำต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุมพร 2 และชุมพร 84-5 ตามลำดับ ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีอัตราการคายน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 1.31 มิลลิโมลน้ำต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน ตามลำดับ เช่นเดียวกับวันที่ 30 ของการทดลอง พบว่า ด้านความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอัตราการคายน้ำเฉลี่ย แต่มีแนวโน้มที่พันธุ์ ชุมพร 84-5 มีค่าอัตราการคายน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 0.93 มิลลิโมลน้ำต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุมพร 84-4 และ ชุมพร 2 ตามลำดับ ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีอัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยอยู่ที่ 1.49 มิลลิโมลน้ำต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้ ในชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน ได้รับการฟื้นฟูแล้วเป็นเวลา 15 วัน แต่วันที่ 45 ของการทดลอง พบว่า ด้านความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ต้นกล้ากาแฟพันธุ์ ชุมพร 2 มีอัตราการคายน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 1.63 มิลลิโมลน้ำต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ชุมพร 84-5 แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ชุมพร 84-5 ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีอัตราการคายน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 1.46 มิลลิโมลน้ำต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้ ในชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน ได้รับการฟื้นฟูแล้วเป็นเวลา 30 วัน และชุดสภาวะน้ำขัง 30 วัน ได้รับการฟื้นฟูแล้วเป็นเวลา 15 วัน ด้านปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาวะน้ำขัง พบว่า วันที่ 45 ของการทดลอง พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาวะน้ำขัง โดยต้นกล้ากาแฟพันธุ์ชุมพร 2 ที่ชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน มีค่าอัตราการคายน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 1.68 มิลลิโมลน้ำต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุดและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับต้นกล้ากาแฟพันธุ์ชุมพร 2 ที่ชุดสภาวะน้ำขัง 30 และ 0 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 6 และ ตารางภาคผนวกที่ 2)



ภาพที่ 6 ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่ออัตราการคายน้ำ (Transpiration rate) (±SD) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (A) ชุมพร 84-4 (B) และชุมพร 84-5 (C) เป็นเวลา 45 วัน

3.3 การเปิดปากใบ

อัตราการเปิดปากใบของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าในวันที่ 15 ของการทดลอง พบว่า ด้านความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอัตราการเปิดปากใบเฉลี่ย แต่มีแนวโน้มที่พันธุ์ชุมพร 2 มีค่าอัตราการเปิดปากใบเฉลี่ยอยู่ที่ 78.61 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุมพร 84-5 และชุมพร 84-4 ตามลำดับ ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีอัตราการเปิดปากใบเฉลี่ยอยู่ที่ 149.60 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดสภาวะน้ำขัง 30 และ 15 วัน ตามลำดับ เช่นเดียวกับ วันที่ 30 ของการทดลอง พบว่า ด้านความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอัตราการเปิดปากใบเฉลี่ย แต่มีแนวโน้มที่พันธุ์ชุมพร 84-4 มีค่าอัตราการเปิดปากใบเฉลี่ยอยู่ที่ 96.86 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุมพร 2 และชุมพร 84-5 ตามลำดับ ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีอัตราการเปิดปากใบเฉลี่ยอยู่ที่ 157.80 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงสุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้ ในชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน ได้รับการฟื้นฟูแล้วเป็นเวลา 15 วัน ในวันที่ 45 ของการทดลอง พบว่า ด้านความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอัตราการเปิดปากใบเฉลี่ย แต่มีแนวโน้มที่พันธุ์ชุมพร 84-4 มีค่าอัตราการเปิดปากใบเฉลี่ยอยู่ที่ 127.80 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุมพร 84-4 และ ชุมพร 2 ตามลำดับ ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีอัตราการคายน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 169.10 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุดและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้ ในชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน ได้รับการฟื้นฟูแล้วเป็นเวลา 30 วัน และชุดสภาวะน้ำขัง 30 วัน ได้รับการฟื้นฟูแล้วเป็นเวลา 15 วัน (ภาพที่ 7 และตารางภาคผนวกที่ 3) แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และสภาวะน้ำขัง



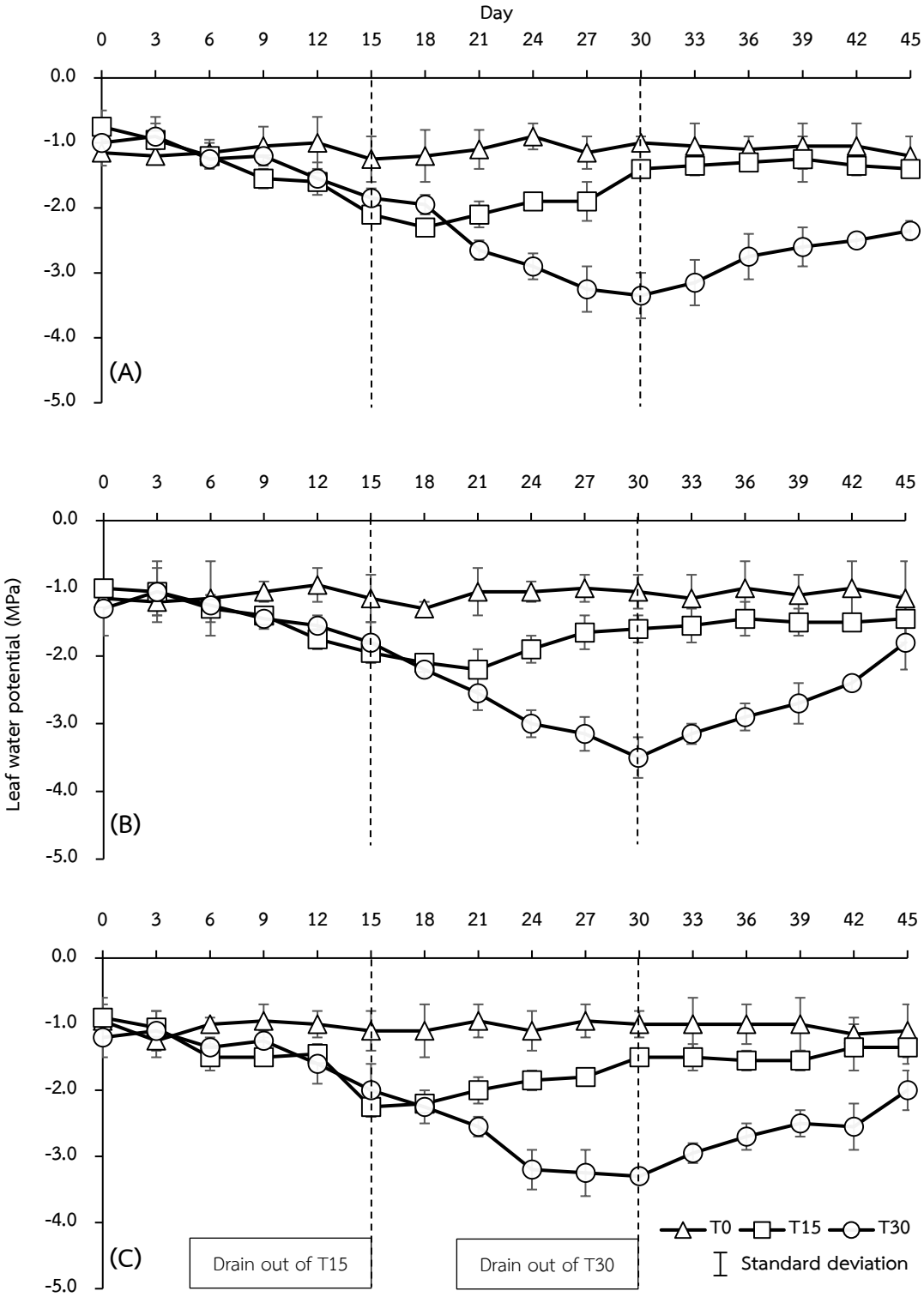
ภาพที่ 7 ผลของขุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่ออัตราการเปิดปากใบ (Stomatal conductance) (±SD) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (A) ชุมพร 84-4 (B) และชุมพร 84-5 (C) เป็นเวลา 45 วัน

3.4 ศักย์ของน้ำในใบ

ศักย์ของน้ำในใบของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าในวันที่ 15 ของการทดลอง พบว่า ด้านความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าศักย์ของน้ำในใบเฉลี่ย แต่มีแนวโน้มที่พันธุ์ชุมพร 84-5 มีค่าศักย์ของน้ำในใบเฉลี่ยอยู่ที่ -2.17 เมกกะปาสคาล สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุมพร 2 และชุมพร 84-4 ตามลำดับ ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีค่าศักย์ของน้ำในใบเฉลี่ยอยู่ที่ -1.57 เมกกะปาสคาล สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน ตามลำดับ เช่นเดียวกับ วันที่ 30 ของการทดลอง พบว่า ด้านความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าศักย์ของน้ำในใบเฉลี่ย แต่มีแนวโน้มที่พันธุ์ชุมพร 2 มีค่าศักย์ของน้ำในใบเฉลี่ยอยู่ที่ -2.06 เมกกะปาสคาล สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุมพร 84-4 และชุมพร 84-5 ตามลำดับ ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีค่าศักย์ของน้ำในใบเฉลี่ยอยู่ที่ -1.51 เมกกะปาสคาล สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดสภาวะน้ำขัง 30 และ 15 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้ ในชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน ได้รับการฟื้นฟูแล้วเป็นเวลา 15 วัน ในวันที่ 45 ของการทดลอง พบว่า ด้านความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มที่พันธุ์ชุมพร 2 มีค่าศักย์ของน้ำในใบเฉลี่ยอยู่ที่ -1.99 เมกกะปาสคาล สูงที่สุดและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ชุมพร 84-4 และชุมพร 84-5 ตามลำดับ ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีค่าศักย์ของน้ำในใบเฉลี่ยอยู่ที่ -1.51 เมกกะปาสคาล สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดสภาวะน้ำขัง 30 และ 15 วัน ตามลำดับ เนื่องจากชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน ได้รับการฟื้นฟูแล้วเป็นเวลา 30 วัน และชุดสภาวะน้ำขัง 30 วัน ได้รับการฟื้นฟูแล้วเป็นเวลา 15 วัน (ภาพที่ 8 และ ตารางภาคผนวกที่ 4) แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และสภาวะน้ำขัง

3.5 ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช

ประสิทธิภาพการใช้น้ำของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าในวันที่ 45 ของการทดลอง ด้านความแตกต่างระหว่างพันธุ์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำ แต่มีแนวโน้มที่พันธุ์ชุมพร 84-5 มีค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 5.83 สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุมพร 84-4 และชุมพร 2 ตามลำดับ ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน มีค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 5.04 สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้ ชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน ได้รับการฟื้นฟูแล้วเป็นเวลา 30 วัน และชุดสภาวะน้ำขัง 30 วัน ได้รับการฟื้นฟูแล้วเป็นเวลา 15 วัน (ตารางที่ 5) แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และสภาวะน้ำขัง



ภาพที่ 8 ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อศักย์ของน้ำในใบ (Leaf water potential) (±SD) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (A) ชุมพร 84-4 (B) และชุมพร 84-5 (C) เป็นเวลา 45 วัน

ตารางที่ 5 ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (A) ชุมพร 84-4 (B) และชุมพร 84-5 (C) ณ วันที่ 45 ของการทดลอง

Varieties	WUE			Mean[(2)]
	T0	T15	T30	
CP 2	3.98[ns]	2.40	1.61	2.66[ns]
CP 84-4	5.74	4.72	5.09	4.56
CP 84-5	5.40	7.01	5.09	5.83
Mean[(1)]	5.04A	4.71A	3.31B	
A		ns		
B		*		
A x B		ns		
C.V. (%)		2.18		

หมายเหตุ: [(1)] ค่าเฉลี่ยของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า 3 พันธุ์ (A)

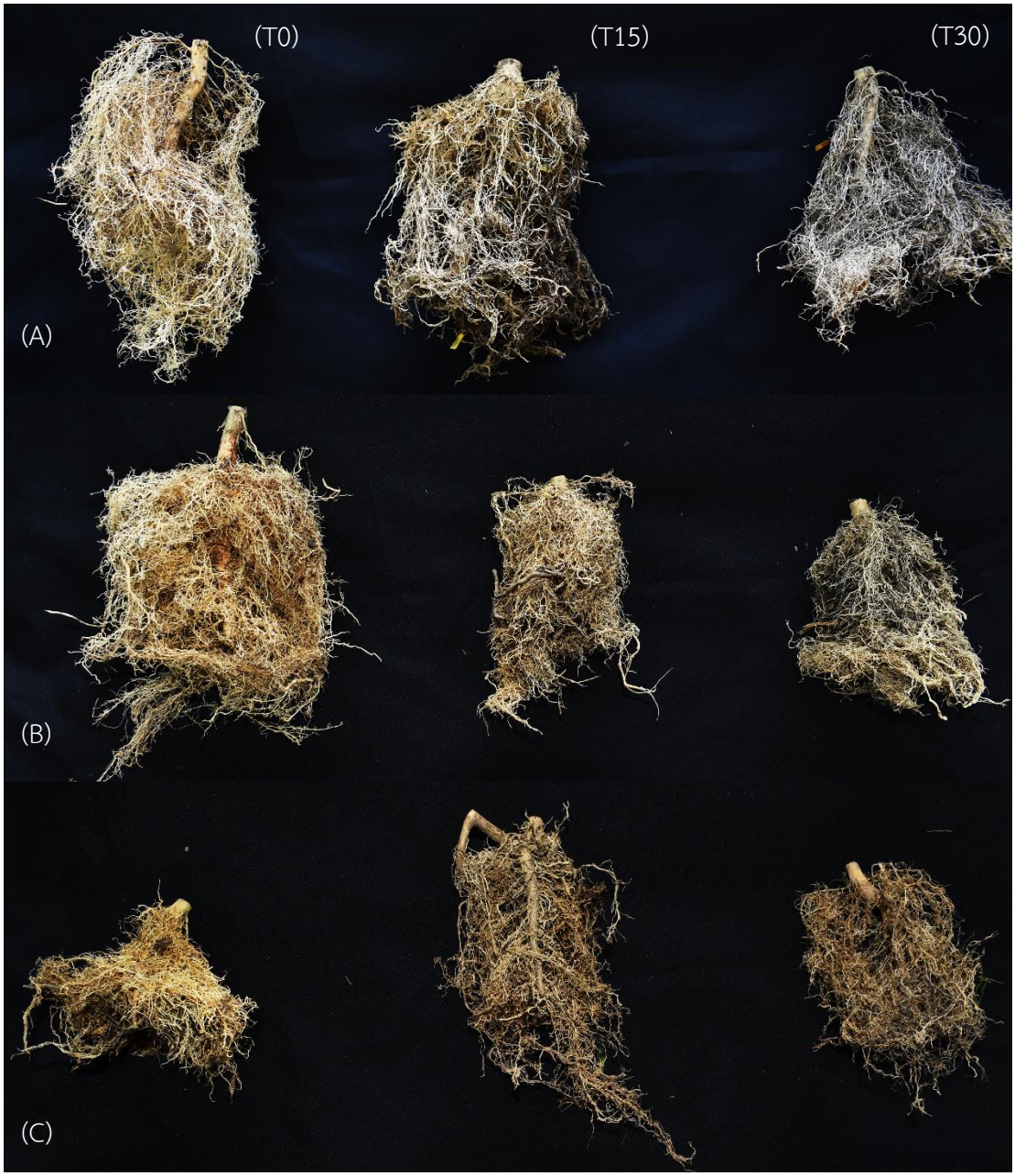
[(2)] ค่าเฉลี่ยของจำนวนวันที่ได้รับสภาวะน้ำขัง (B)

[ns] ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันและมีตัวอักษรกำกับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

3.6 การตอบสนองทางรากพืช

การตอบสนองของรากต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าในวันที่ 45 ของการทดลอง พบว่าเกิดการตายของราก (รากสีน้ำตาลคล้ำ) จำนวนมากที่บริเวณรากของต้นกล้ากาแฟที่ชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน รวมไปถึงความหนาแน่นของรากเมื่อเปรียบเทียบกับชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน พบว่ามีความหนาแน่นของรากมากกว่า (รากสีเขียวอ่อน) (ภาพที่ 9) ด้านความแตกต่างระหว่างพันธุ์ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าความหนารากชั้น Cortex และ Epidermis โดยมีแนวโน้มที่พันธุ์ชุมพร 84-4 มีค่าความหนาของรากชั้น epidermis เฉลี่ยอยู่ที่ 7.6 ไมโครเมตร สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุมพร 84-5 และ ชุมพร 2 ตามลำดับ และพันธุ์ชุมพร 2 มีค่าความหนาของรากชั้น Cortex เฉลี่ยอยู่ที่ 370 ไมโครเมตร สูงที่สุด รองลงมาคือ ชุมพร 84-5 และชุมพร 84-4 ตามลำดับ ด้านสภาวะน้ำขัง พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าความหนารากชั้น Epidermis เฉลี่ย โดยมีแนวโน้มที่ชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.6 ไมโครเมตร สูงที่สุด รองลงมา คือ ชุดสภาวะน้ำขัง 30 และ 15 วัน ตามลำดับ แต่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าความหนารากชั้น Cortex ในชุดสภาวะน้ำขัง 30 วัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 411 ไมโครเมตร รองลงมา คือ ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน และ 15 วัน ตามลำดับ แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และสภาวะน้ำขัง (ตารางที่ 6)



ภาพที่ 9 ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อการตอบสนองทางสัณฐานวิทยาของรากต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (A) ชุมพร 84-4 (B) และชุมพร 84-5 (C) ณ วันที่ 45 ของการทดลอง

ตารางที่ 6 ผลของชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อความหนาชั้นผิวราก (Root epidermis) และความหนาชั้นเนื้อเยื่อราก (Root cortex) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (A) ชุมพร 84-4 (B) และชุมพร 84-5 (C) ณ วันที่ 45 ของการทดลอง

Varieties	Root epidermis (μm)			Mean[(2)]	Root cortex (μm)			Mean[(2)]
	T0	T15	T30		T0	T15	T30	
CP 2	7.3[ns]	7.6	6.8	7.2[ns]	324[ns]	320	467	370[ns]
CP 84-4	7.5	8.1	7.3	7.6	337	303	397	346
CP 84-5	6.9	7.2	7.8	7.3	343	349	370	354
Mean[(1)]	7.2[ns]	7.6	7.3[ns]		345B	324B	411A	
A	ns				ns			
B	ns				*			
A x B	ns				ns			
C.V. (%)	4.87				3.96			

หมายเหตุ: [(1)] ค่าเฉลี่ยของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า 3 พันธุ์ (A)

[(2)] ค่าเฉลี่ยของจำนวนวันที่ได้รับสภาวะน้ำขัง (B)

[ns] ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันและมีตัวอักษรกำกับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

การทดลองที่ 2 ผลของสภาพร่มเงาต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้ากาแฟพันธุ์โรบัสต้า

1. การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของใบ

1.1 การตอบสนองทางสัณฐานวิทยาของใบต้นกาแฟโรบัสต้า

การตอบสนองด้านลักษณะใบของต้นกาแฟโรบัสต้า ด้านสภาพแสง พบว่า สภาพกลางแจ้งและสภาพร่มเงาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มที่สภาพกลางแจ้งมีค่าความกว้างใบเฉลี่ยอยู่ที่ 8.11 เซนติเมตร สูงที่สุด และที่สภาพร่มเงามีค่าความยาวเฉลี่ยอยู่ที่ 16.36 เซนติเมตร สูงที่สุด แต่สภาพร่มเงามีค่าพื้นที่ใบเฉลี่ยอยู่ที่ 107.26 ตารางเซนติเมตร สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสภาพกลางแจ้ง ด้านตำแหน่งคู่ใบ พบว่า คู่ใบที่ 3 มีความกว้างและความยาวใบเฉลี่ยอยู่ที่ 9.20 และ 17.72 เซนติเมตร สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับคู่ใบที่ 1 แต่ไม่ความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับคู่ใบที่ 5 เช่นเดียวกับค่าพื้นที่ใบเฉลี่ย คู่ใบที่ 5 มีพื้นที่ใบเฉลี่ยอยู่ที่ 112.34 ตารางเซนติเมตร สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับคู่ใบที่ 1 แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับคู่ใบที่ 3 ด้านปฏิสัมพันธ์ระหว่างสภาพแสงและตำแหน่งคู่ใบ พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ของค่าพื้นที่ใบเฉลี่ยโดยที่สภาพร่มเงาของคู่ใบที่ 5 มีค่าพื้นที่ใบเฉลี่ยอยู่ที่ 112.34 ตารางเซนติเมตร สูงที่สุดและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสภาพร่มเงาของคู่ใบที่ 3 และสภาพกลางแจ้งของคู่ใบที่ 5 ตามลำดับ (ตารางที่ 7)

การตอบสนองด้านลักษณะสรีวิทยาของใบต้นกาแฟโรบัสต้า ด้านสภาพแสง พบว่า สภาพกลางแจ้งและสภาพร่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มที่สภาพกลางแจ้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.65 กรัม สูงที่สุด ส่วนค่าพื้นที่ใบจำเพาะเฉลี่ย มีแนวโน้มที่สภาพร่มเงามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0136 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม แต่ค่าน้ำหนักใบจำเพาะของสภาพกลางแจ้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 77.57 กรัมต่อตารางเซนติเมตร สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสภาพร่มเงา ด้านตำแหน่งคู่ใบ พบว่า คู่ใบที่ 5 มีค่าน้ำหนักใบและพื้นที่ใบจำเพาะเฉลี่ยอยู่ที่ 0.72 กรัม และ 0.0141 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม สูงที่สุดและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับคู่ใบที่ 3 แต่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับคู่ใบที่ 1 ส่วนน้ำหนักใบจำเพาะของคู่ใบที่ 5 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 75.13 กรัมต่อตารางเซนติเมตร สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับคู่ใบที่ 3 และ 1 ตามลำดับ ด้านปฏิสัมพันธ์ระหว่างสภาพแสงและตำแหน่งคู่ใบ พบว่า

มีปฏิสัมพันธ์ของค่าน้ำหนักใบจำเพาะเฉลี่ย โดยที่สภาพกลางแจ้งของคู่ใบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 81.63 กรัมต่อตารางเซนติเมตร สูงที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสภาพกลางแจ้งของคู่ใบที่ 5 (ตารางที่ 8)

1.2 การเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาของปากใบ

การตอบสนองด้านสัณฐานวิทยาของปากใบของต้นกาแฟโรบัสต้า ด้านสภาพแสง พบว่า สภาพกลางแจ้งและสภาพร่มเงามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่สภาพร่มเงามีค่าความกว้างปากใบ ความยาวปากใบ และความหนาแน่นปากใบเฉลี่ยอยู่ที่ 10.68 ไมโครเมตร 9.11 ไมโครเมตร และ 144.67 ปากใบต่อตารางไมโครเมตร ตามลำดับ สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสภาพกลางแจ้ง ด้านตำแหน่งคู่ใบ พบว่า ค่าความกว้างปากใบและความยาวปากใบของคู่ใบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 10.20 ไมโครเมตร และ 9.70 ไมโครเมตร ตามลำดับ สูงที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับคู่ใบที่ 5 ส่วนค่าความหนาแน่นปากใบของคู่ใบที่ 5 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 146.40 ปากใบต่อตารางไมโครเมตร สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับคู่ใบที่ 3 และ 5 ตามลำดับ ด้านปฏิสัมพันธ์ระหว่างสภาพแสงและตำแหน่งคู่ใบ พบว่า ค่าความกว้างปากใบและความยาวปากใบที่สภาพกลางแจ้งของคู่ใบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.20 ไมโครเมตร และ 9.70 ไมโครเมตร สูงที่สุด แต่ค่าความยาวปากใบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสภาพกลางแจ้งของคู่ใบที่ 5 และสภาพร่มเงาของคู่ใบที่ 5 และค่าความกว้างปากใบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสภาพกลางแจ้งของคู่ใบที่ 5 และสภาพร่มเงาของคู่ใบที่ 3 ส่วนค่าความหนาแน่นปากใบที่สภาพกลางแจ้งของคู่ใบที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 156.70 ปากใบต่อตารางไมโครเมตร สูงที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับสภาพกลางแจ้งของคู่ใบที่ 3 และ 5 และสภาพร่มเงาของคู่ใบที่ 1 ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 7 ผลของสภาพกลางแจ้ง (FS) และสภาพร่มเงา (SH) ต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้าง (Leaf width) ความยาว (Leaf length) และพื้นที่ใบ (Leaf area) ที่ตำแหน่งคู่ใบที่ 1 (1^{st}) คู่ใบที่ 3 (3^{rd}) และคู่ใบที่ 5 (5^{th}) ของต้นกาแฟโรบัสต้า

Nodes	Leaf width (cm)		Mean[(2)]	Leaf length (cm)		Mean[(2)]	Leaf area (cm^2)		Mean[(2)]
	FS	SH		FS	SH		FS	SH	
1^{st}	7.56[ns]	5.60	6.58B	13.88[ns]	15.4	14.64B	78.51c	80.60c	79.56B
3^{rd}	9.20	9.20	9.20A	16.62	18.82	17.72A	100.81b	120.90a	110.86A
5^{th}	7.56	5.60	6.58B	17.45	14.87	16.16B	104.40ab	120.28a	112.34A
Mean[(1)]	8.11[ns]	6.80		15.98[ns]	16.36		94.57B	107.26A	
A	ns			ns			*		
B	*			*			*		
A x B	ns			ns			*		
C.V.%	7.53			6.39			14.25		

หมายเหตุ: [(1)] ค่าเฉลี่ยของสภาพแสง (A)

[(2)] ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งคู่ใบ (B)

[ns] ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันและมีตัวอักษรกำกับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 8 ผลของสภาพกลางแจ้ง (FS) และสภาพร่มเงา (SH) ต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งใบ (Leaf dry weight) พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) และน้ำหนักใบจำเพาะ (SLW) ที่ตำแหน่งคู่ใบที่ 1 (1^{st}) คู่ใบที่ 3 (3^{rd}) และคู่ใบที่ 5 (5^{th}) ของต้นกาแฟโรบัสต้า

Nodes	Leaf dry weight (g)		Mean[(2)]	SLA (cm^2/g)		Mean[(2)]	SLW (g/cm^2)		Mean[(2)]
	FS	SH		FS	SH		FS	SH	
1^{st}	0.41[ns]	0.33	0.37B	0.0120[ns]	0.0118	0.0119B	69.60ab	41.61c	55.61C
3^{rd}	0.70	0.71	0.71A	0.0126	0.0142	0.0134A	81.63a	57.64b	69.63B
5^{th}	0.85	0.60	0.72A	0.0134	0.0147	0.0141A	81.47a	68.8ab	75.13A
Mean[(1)]	0.65[ns]	0.55		0.0127[ns]	0.0136		77.57A	56.02B	
A	ns			ns			*		
B	*			*			*		
A x B	ns			ns			*		
C.V.%	9.58			15.68			12.39		

หมายเหตุ: [(1)] ค่าเฉลี่ยของสภาพแสง (A)

[(2)] ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งคู่ใบ (B)

[ns] ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันและมีตัวอักษรกำกับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 9 ผลของสภาพกลางแจ้ง (FS) และสภาพร่มเงา (SH) ต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวปากใบ (Stomata length) ความกว้างปากใบ (Stomata width) และความหนาแน่นของปากใบ (Stomata density) ที่ตำแหน่งคู่ใบที่ 1 (1st) คู่ใบที่ 3 (3rd) และคู่ใบที่ 5 (5th) ของต้นกาแฟโรบัสต้า

Nodes	Stomata length (µm)		Mean(2)	Stomata width (µm)		Mean(2)	Stomata density (no./um1)		Mean(2)
	FS	SH		FS	SH		FS	SH	
1st	9.96b	8.40b	9.18B	7.56b	5.60c	6.58B	156.70a	136.10a	146.40A
3rd	11.20a	9.80b	10.50A	10.20a	9.20ab	9.70A	135.60a	63.89b	99.72B
5th	10.87a	10.10ab	10.49A	9.56a	8.60b	9.08A	141.70a	76.67b	109.19B
Mean(1)	10.68A	9.43B		9.11A	7.80B		144.67A	92.22B	
A	*			*			*		
B	*			*			*		
A x B	*			*			*		
C.V.%	16.74			15.89			13.47		

หมายเหตุ: (1) ค่าเฉลี่ยของสภาพแสง (A)

(2) ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งคู่ใบ (B)

ns ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันและมีตัวอักษรกำกับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P≤0.05)

2. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของใบ

2.1 การเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุในใบของต้นกาแฟโรบัสต้า

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรงควัตถุในใบของต้นกาแฟโรบัสต้า ด้านสภาพแสง พบว่า สภาพร่มเงามีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยอยู่ที่ 36.44 ตารางเซนติเมตร 18.82 ตารางเซนติเมตร 55.95 ตารางเซนติเมตร และ 2.32 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสภาพกลางแจ้ง ด้านตำแหน่งคู่ใบ พบว่า คู่ใบที่ 5 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยอยู่ที่ 35.44 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร 18.35 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร 54.42 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 2.25 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ สูงที่สุดและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับคู่ใบที่ 3 แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับคู่ใบที่ 1 ด้านปฏิสัมพันธ์ระหว่างสภาพแสงและตำแหน่งคู่ใบ พบว่า ที่สภาพร่มเงาของคู่ใบที่ 3 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ บี และปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยอยู่ที่ 34.43 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร 18.35 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 2.39 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร สูงที่สุดและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสภาพร่มเงาของคู่ใบที่ 5 และ 1 ตามลำดับ เช่นเดียวกับที่สภาพร่มเงาของคู่ใบที่ 3 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ที่ 57.45 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร สูงที่สุดและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสภาพร่มเงาของคู่ใบที่ 5 และ 1 และสภาพกลางแจ้งของคู่ใบที่ 5 ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนปริมาณรงควัตถุในใบของต้นกาแฟโรบัสต้า ด้านสภาพแสง พบว่า สภาพร่มเงาและสภาพกลางแจ้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มที่สภาพร่มเงามีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดต่อพื้นที่ใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ต่อ บี เฉลี่ยอยู่ที่ 0.35 และ 1.94 ตามลำดับ สูงที่สุด ส่วนค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สภาพกลางแจ้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 25.05 สูงที่สุด ด้านตำแหน่งคู่ใบ พบว่า คู่ใบที่ 1 มีค่าคลอโรฟิลล์ทั้งหมดต่อพื้นที่ใบเฉลี่ยอยู่ที่ 0.37 และ 25.06 สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับคู่ใบที่ 5 และ 3 ตามลำดับ แต่ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ต่อ บี และค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดต่อปริมาณแคโรที่นอยด์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มของคู่ใบที่ 5 มีค่าปริมาณเอ ต่อ บี เฉลี่ยอยู่ที่ 1.93 สูงที่สุด และคู่ใบที่ 1 มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดต่อปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยอยู่ที่ 25.06 สูงที่สุด (ตารางที่ 11) แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างสภาพแสงและตำแหน่งคู่ใบ

ตารางที่ 10 ผลของสภาพกลางแจ้ง (FS) และแสงร่มเงา (SH) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chl_a) ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl_b) ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Chl_{total}) และปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ที่ตำแหน่งคู่ใบที่ 1 (1^{st}) คู่ใบที่ 3 (3^{rd}) และคู่ใบที่ 5 (5^{th}) ของต้นกาแฟโรบัสต้า

Nodes	Chl_a (mg /cm^2)		Mean[(2)]	Chl_b (mg /cm^2)		Mean[(2)]	Chl_{total} (mg /cm^2)		Mean[(2)]	Carotenoid (mg /cm^2)		Mean[(2)]
	FS	SH		FS	SH		FS	SH		FS	SH	
1^{st}	23.50c	34.80ab	29.15B	12.67c	18.08ab	15.38B	36.25c	53.47ab	44.86B	1.41c	2.19ab	1.80B
3^{rd}	30.50b	37.43a	33.97A	16.08b	19.28a	17.68A	46.94b	57.45a	52.20A	1.88b	2.39a	2.14A
5^{th}	33.77b	37.10a	35.44A	17.58b	19.12a	18.35A	51.89ab	56.94a	54.42A	2.12b	2.37a	2.25A
Mean[(1)]	29.26B	36.44A		15.44B	18.82A		45.03B	55.95A		1.80B	2.32A	
A	*			*			*			*		
B	*			*			*			*		
A x B	*			*			*			*		
C.V.%	13.25			7.98			13.66			14.58		

หมายเหตุ: [(1)] ค่าเฉลี่ยของสภาพแสง (A)

[(2)] ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งคู่ใบ (B)

[ns] ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันและมีตัวอักษรกำกับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 11 ผลของสภาพกลางแจ้ง (FS) และสภาพร่มเงา (SH) ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดต่อพื้นที่ใบ (Chl_{total}/LA) อัตราส่วนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ต่อคลอโรฟิลล์ บี (Chl_a/Chl_b) และอัตราส่วนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ (Chl_{total}/Carotenoid) ที่ตำแหน่งคู่ใบที่ 1 (1^{st}) คู่ใบที่ 3 (3^{rd}) และคู่ใบที่ 5 (5^{th}) ของต้นกาแฟโรบัสต้า

Nodes	Chl_{total}/LA		Mean(2)	$Chl_a/Chl._b$		Mean(2)	Chl_{total}/Carotenoid		Mean(2)
	FS	SH		FS	SH		FS	SH	
1^{st}	0.30	0.43	0.37A	1.85	1.92	1.89^{ns}	25.71	24.42	25.06^{ns}
3^{rd}	0.30	0.31	0.31B	1.90	1.94	1.92	24.97	24.04	24.50
5^{th}	0.32	0.31	0.32B	1.92	1.94	1.93	24.48	24.03	24.25
Mean(1)	0.31^{ns}	0.35		1.89^{ns}	1.94		25.05^{ns}	24.16	
A	ns			ns			ns		
B	*			ns			ns		
A x B	ns			ns			ns		
C.V.%	12.58			13.99			13.78		

หมายเหตุ: (1) ค่าเฉลี่ยของสภาพแสง (A)

(2) ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งคู่ใบ (B)

ns ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันและมีตัวอักษรกำกับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

2.2 การตอบสนองทางสรีรวิทยา

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกาแฟโรบัสต้า ด้านสภาพแสง พบว่า สภาพกลางแจ้งมีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยอยู่ที่ 5.84 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับสภาพร่มเงา ส่วนที่สภาพร่มเงามีค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 4.33 โมลต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสภาพกลางแจ้ง แต่ค่าอัตราการคายน้ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มที่สภาพร่มเงามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.49 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุด ด้านตำแหน่งคู่ใบ พบว่า คู่ใบที่ 5 มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสง อัตราการคายน้ำ และอัตราการคายน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 4.51 ไมโครโมลต่อโมล 1.53 มิลลิโมลต่อโมล และ 3.16 ไมโครโมลต่อโมล สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ด้านปฏิสัมพันธ์ระหว่างสภาพแสงต่อตำแหน่งคู่ใบ พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ของค่าอัตราการสังเคราะห์แสงและประสิทธิภาพการใช้น้ำเฉลี่ย โดยที่สภาพกลางแจ้งของคู่ใบที่ 3 มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยอยู่ที่ 6.53 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสภาพกลางแจ้งของคู่ใบที่ 5 และที่สภาพกลางแจ้งของคู่ใบที่ 5 มีค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 4.60 ไมโครโมลต่อโมล สูงที่สุดและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสภาพกลางแจ้งของคู่ใบที่ 3 และ 1 ตามลำดับ (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 ผลของสภาพกลางแจ้ง (FS) และสภาพร่มเงา (SH) ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการสังเคราะห์แสง (A) อัตราการคายน้ำ (E) และประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ที่ตำแหน่งคู่ใบที่ 1 (1^{st}) คู่ใบที่ 3 (3^{rd}) และคู่ใบที่ 5 (5^{th}) ของต้นกาแฟโรบัสต้า

Nodes	A (μmol $CO_2/m^2/s^1$)		Mean[(2)]	E (mmol $H_2O/m^2/s^1$)		Mean[(2)]	WUE		Mean[(2)]
	FS	SH		FS	SH		FS	SH	
1^{st}	5.01b	2.02d	3.52B	1.25	1.26	1.25B	4.01a	1.60c	2.81B
3^{rd}	6.53a	2.06d	4.30A	1.49	1.45	1.47A	4.38a	1.70bc	3.04A
5^{th}	5.98a	3.03c	4.51A	1.30	1.76	1.53A	4.60a	1.72b	3.16A
Mean[(1)]	5.84A	2.37B		1.35[ns]	1.49		4.33A	1.67B	
A	*			ns			*		
B	*			*			*		
A x B	*			ns			*		
C.V.%	9.98			16.99			11.58		

หมายเหตุ: [(1)] ค่าเฉลี่ยของสภาพแสง (A)

[(2)] ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งคู่ใบ (B)

[ns] ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันและมีตัวอักษรกำกับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

บทที่ 4

วิจารณ์

ผลของสภาวะน้ำขังต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นกล้ากาแฟพันธุ์โรบัสต้า

1. ผลของสภาวะน้ำขังต่อการตอบสนองทางการเจริญเติบโต

การเจริญเติบโตทางด้านความสูงและพื้นที่ใบของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าทั้ง 3 พันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบความแตกต่างกันเมื่ออยู่ในสภาวะน้ำขัง โดยส่งผลให้พัฒนาการของต้นกล้ากาแฟช้าลง (ตารางที่ 1) ตลอดจนส่งผลไปถึงการสะสมน้ำหนักแห้งของต้นกล้ากาแฟด้วย แม้สัดส่วนน้ำหนักแห้งของส่วนใต้ดินต่อส่วนเหนือดินจะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน กลับให้สัดส่วนน้ำหนักแห้งมากกว่า (ตารางที่ 2) เนื่องจากในสภาวะเครียดน้ำส่งผลให้ต้นกล้ากาแฟลดการเจริญเติบโตในส่วนของยอดและการสร้างพื้นที่ใบ (Boyer, 1969) สอดคล้องกับ Gibbs และ Greenway (2003) รายงานว่า เมื่อมีสภาวะน้ำขังรากพืชจะไม่มีออกซิเจน ต้นพืชจะสร้างพลังงานจากกระบวนการหมัก (Fermentation) พืชจะสร้างสารพิษในเซลล์ขึ้น ได้แก่ กรดแอซีติก กรดบิวทิริก เป็นต้น โดยกรดเหล่านี้จะซึมออกสู่น้ำในดินบริเวณนั้น ส่งผลให้เกิดกลิ่นเน่าเหม็นและมีความเป็นพิษต่อรากเมื่อมีความเข้มข้นสูง (Drew and Lynch, 1980) พลังงานที่พืชผลิตได้ลดลง การสร้างและการสะสมอาหารลดลงกว่าสภาพที่พืชได้รับน้ำปกติ ตลอดจนการลดพัฒนาการด้านการเจริญเติบโตของพืชลงด้วย นอกจากนี้ ระยะเวลาที่ต้นกล้ากาแฟได้รับสภาวะน้ำขังสามารถส่งผลกระทบด้วยเช่นกัน เนื่องจากระยะเวลาที่ต้นกล้ากาแฟอยู่ในสภาวะน้ำขังเป็นเวลา 15 และ 30 วัน ส่งผลต่อการลดพื้นที่ใบ มีอัตราการเหี่ยวและการตายเพิ่มขึ้น ควบคู่กับการลดลงของค่าทางสรีรวิทยาอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่ต้นกล้ากาแฟอยู่ในสภาวะน้ำขัง จากปัจจัยที่กล่าวมานี้สามารถทำให้ต้นกล้ากาแฟเหี่ยวและตายลงในที่สุด โดยเฉพาะพันธุ์ชุมพร 84-5 มีแนวโน้มอัตราการรอดชีวิตต่ำที่สุด (ตารางที่ 3)

2. ผลของสภาวะน้ำขังต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของใบ

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชในสภาวะน้ำขัง โดยทั่วไปแล้วพืชจะลดการดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงกว่า 10 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (Parolin *et al.,* 2004) แต่การดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะกลับเพิ่มขึ้นเป็นปกติอีกครั้งเมื่อระดับน้ำลดลงกลับสู่สภาวะปกติ ซึ่งการตอบสนองทางสรีรวิทยาของการทดลองนี้ อัตราการสังเคราะห์แสง (ภาพที่ 5) อัตราการคายน้ำ (ภาพที่ 6) อัตราการเปิดปากใบ (ภาพที่ 7) ศักย์ของน้ำในใบ (ภาพที่ 8) และประสิทธิภาพการใช้น้ำ (ตารางที่ 5) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าทั้ง 3 พันธุ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของชุดสภาวะน้ำขัง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คือ การตอบสนองทางสรีรวิทยา จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า วันที่ 0 ของการทดลอง ค่าเฉลี่ยทางสรีรวิทยามีความใกล้เคียงกันทั้ง 3 พันธุ์ แต่เมื่อเข้าสู่วันที่ 15 ของการทดลอง ชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน มีค่าเฉลี่ยทางสรีรวิทยาลดลงประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน เนื่องจากพืชเกิดสภาวะเครียดน้ำ โดยดินที่เต็มไปด้วยน้ำส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง สิ่งแรกที่พืชตอบสนองอย่างชัดเจน คือ ลดการหายใจในส่วนของรากพืชลง (Liao and Lin, 2001) และมีการหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจน ต้นกล้ากาแฟจะเริ่มปรับตัวเพื่อการอยู่รอด เช่น ลดการเปิดปากใบ ลดการคายน้ำ และอัตราการสังเคราะห์แสงเพื่อรักษาระดับสมดุลน้ำในต้นไว้ให้คงที่ แต่การสังเคราะห์แสงมีความจำเป็นต้องต้องใช้น้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแสงเป็นตัวตั้งต้นปฏิกิริยา เมื่อต้นกาแฟได้รับน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่กระบวนการน้อยลง ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงและการเปิดปากใบลดลงด้วยเช่นกัน ซึ่งหากมีน้ำในต้นกล้ากาแฟมากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อเซลล์พืช (เซลล์เต่ง) อย่างรวดเร็ว

วันที่ 30 ของการทดลอง ชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน หลังได้รับการฟื้นฟูโดยการนำออกจากสภาวะน้ำขัง จึงเริ่มเห็นความแตกต่างของชุดสภาวะน้ำขัง 15 และ 30 วัน เนื่องจากชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน เริ่มมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับสภาวะน้ำขัง 0 วัน เนื่องจากดินเริ่มมีปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้น ต้นกล้ากาแฟเริ่มเปิดปากใบเพิ่มขึ้นเพื่อสังเคราะห์แสง แต่ต้นกาแฟยังคงได้รับผลกระทบจากความเครียดน้ำต่อเนื่อง ส่งผลให้รากได้รับความเสียหายเป็นบางส่วน (ภาพที่ 9) การเพิ่มขึ้นของค่าการสังเคราะห์แสงเฉลี่ยจึงปรับขึ้นอย่างช้า ๆ แตกต่างกับชุดสภาวะขังน้ำ 30 วัน ที่ยังคงได้รับความเครียดน้ำอยู่ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยการสังเคราะห์แสงลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึง 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะน้ำขัง 0 วัน

วันที่ 45 ของการทดลอง ต้นกล้ากาแฟชุดสภาวะน้ำขัง 30 วัน มีการปรับตัวโดยการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยทางสรีรวิทยาประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกับชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน ที่ได้รับการฟื้นฟูนาน 30 วัน ที่มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน

จากผลการศึกษา สอดคล้องกับการศึกษาผลของสภาวะน้ำขังของ Bertolde และคณะ (2012) ในต้นโกโก้ พบว่า มีการลดลงของค่าอัตราการสังเคราะห์แสง การเปิดปากใบ การคายน้ำ ประสิทธิภาพการใช้น้ำ และธาตุอาหาร (ไนโตรเจน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม) ตลอดจนการสร้างและสะสมอาหารภายในต้น เช่น แป้ง และน้ำตาล เป็นต้น นอกจากนี้ Silveira และคณะ (2015) รายงานผลการศึกษาผลของสภาวะน้ำขังต่อต้นกาแฟอราบิก้า โดยเปรียบเทียบการให้น้ำแบบปกติ สภาวะน้ำขังแบบไม่ต่อเนื่อง (ขังน้ำ 4 วัน ฟื้นฟู 3 วัน) และสภาวะน้ำขังแบบต่อเนื่องนาน 5 เดือน พบว่า ระยะเวลาของสภาวะน้ำขังมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับอัตราการสังเคราะห์แสง การคายน้ำ การเปิดปากใบ ประสิทธิภาพการใช้น้ำและปริมาณสารอาหารในต้นกาแฟพันธุ์อราบิก้า กล่าวคือ ที่สภาวะน้ำขังแบบต่อเนื่อง การตอบสนองทางสรีรวิทยาจะลดลงตามระยะเวลาที่ได้รับน้ำจนต้นกาแฟอราบิก้าตาย แต่ที่สภาวะน้ำขังแบบไม่ต่อเนื่อง เมื่อได้รับการฟื้นฟูต้นกล้ากาแฟอราบิก้าจะค่อย ๆ กลับมามีค่าเฉลี่ยสูงขึ้น เช่นเดียวกับ ชุดสภาวะการขังน้ำ 15 วัน ฟื้นฟู 30 วัน และชุดสภาวะขังน้ำ 30 วัน ฟื้นฟู 15 วัน เมื่อต้นกล้ากาแฟได้รับการฟื้นฟูการตอบสนองทางสรีรวิทยาจะเพิ่มขึ้นต่อเนื่องและอยู่ในสภาพปกติเช่นเดียวกับชุดสภาวะน้ำขัง 0 วัน

3. ผลของสภาวะน้ำขังต่อการตอบสนองทางสัณฐานวิทยาของราก

การตอบสนองของรากต้นกล้ากาแฟเมื่อเกิดสภาวะน้ำขังเป็นเวลานานสามารถสังเกตได้ชัดเจน คือ ปริมาณการตายของรากต้นกล้ากาแฟ โดยสังเกตจากลักษณะทางกายภาพของราก คือ สีคล้ำเป็นสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ (มนต์สรวง และคณะ, 2553) เนื่องจากปริมาณอากาศภายในดินมีน้อย ทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซรวมไปถึงกระบวนการชีวเคมีภายในดินเปลี่ยนแปลงจากการใช้ออกซิเจนเป็นการหมักแทน โดยมีการเพิ่มขึ้นของเอมไซม์ เช่น Alcohol dehydrogenase (ADH) Lactate dehydrogenase (LDH) Glutamate - pyruvate transaminase (GPT) Malate dehydrogenase (MDH) และสารประกอบอื่น ๆ ที่เป็นพิษต่อรากพืชโดยตรง ส่งผลให้เกิดรากตายเพิ่มมากขึ้น (Schlüter and Furch, 1992; Schlüter *et al.*, 1993; De Simone *et al*., 2002) การเกิดรากใหม่น้อยและการหยั่งลึกของรากลดลงเช่นกัน (ภาพที่ 9) ส่งผลให้พืชสามารถนำน้ำในดินมา

ใช้ได้น้อย ประกอบกับการลดอัตราการคายน้ำลงเพื่อรักษาสมดุลของน้ำภายในเซลล์พืช ทำให้การพัฒนาของราก การดูดน้ำ และการลำเลียงธาตุอาหารส่งไปเลี้ยงต้นได้น้อยลง (Lamade *et al*., 1998) เมื่อเปรียบเทียบภายในเนื้อเยื่อรากภายใต้สภาวะน้ำขังจะพบความต่างของขนาดชั้น Cortex ภายในรากพืช เช่น Yurany และคณะ (2016) ศึกษาการตอบสนองของต้นปาล์มน้ำมันที่ได้รับสภาวะน้ำขังเป็นเวลานาน พบว่า รากต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีการพัฒนาของขนาดรากชั้น Cortex เพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มพื้นที่ช่องว่างอากาศภายในรากและมีการลดลงของน้ำหนักแห้งรากร่วมด้วย นอกจากนี้การพัฒนาของชั้น lenticel ในชั้นเนื้อเยื่อพืช ส่งผลให้เกิดรากพิเศษบริเวณผิวดินเพื่อเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนอากาศกับพื้นผิวดิน (Crawford, 1992) สอดคล้องกับผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชุดสภาวะน้ำขัง 30 วัน มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งน้อยกว่าชุดสภาวะน้ำขัง 15 วัน และพันธุ์ชุมพร 84-4 มีน้ำหนักแห้งรากเฉลี่ยสูงที่สุด (ตารางที่ 2) นอกจากนี้ยังพบการเพิ่มขึ้นชั้น Cortex ภายในรากต้นกล้ากาแฟที่ชุดสภาวะน้ำขัง 30 วัน ทั้งนี้อาจเป็นการปรับตัวเพื่อรักษาสมดุลของช่องว่างอากาศภายในเซลล์ให้คงที่ในการดำรงชีวิตของต้นกาแฟโรบัสต้า (ตารางที่ 7)

ผลของสภาพร่มเงาต่อการตอบสนองทางสัณฐานและสรีรวิทยาของใบต้นกาแฟพันธุ์โรบัสต้า

1. การเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาต่อสภาพร่มเงาของใบ

ตำแหน่งของคู่ใบเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการจำแนกพัฒนาการของใบ การเปลี่ยนแปลงลักษณะบางประการของใบอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าทางสรีรวิทยาของใบกาแฟ เนื่องจากใบมีบทบาทที่สำคัญต่อการสังเคราะห์แสง ซึ่งในสภาพแสงกลางแจ้ง พืชสามารถสร้างพลังงานจากการสังเคราะห์แสงได้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดี แต่การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของใบในสภาพร่มเงา เช่น การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบ การเปลี่ยนมุมใบ การเปลี่ยนแปลงขนาดความกว้างและความยาวใบ ตลอดจนการผลิตและสะสมอาหาร ล้วนมีผลต่อพัฒนาการของใบกาแฟทั้งสิ้น (Guerra-Guimarães, 2014) โดยพัฒนาการของใบที่เกิดจากสภาพร่มเงาจะส่งผลต่อกระบวนการสร้าง การสะสมของธาตุอาหาร และการใช้พลังงานภายในเซลล์พืช เนื่องจากในสภาพร่มเงา ใบพืชต้องการปริมาณความเข้มแสงมากขึ้นเพื่อทดแทนปริมาณความเข้มแสงที่หายไปจากการบดบัง การปรับตัวของใบให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นจะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการรับและการสังเคราะห์แสง ผลการศึกษาแสดงถึงการปรับตัวของใบต้นกาแฟโรบัสต้าต่อสภาพร่มเงาให้เห็นว่ามีพื้นที่ใบจำเพาะ น้ำหนักใบจำเพาะ และมวลแห้งของใบลดลง (ตารางที่ 8) การเปลี่ยนแปลงนี้จะส่งผลกระทบโดยตรงกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ เนื่องจากคลอโรฟิลล์มีหน้าที่ในการรับพลังงานและเปลี่ยนแปลงแสงเป็นพลังงาน

เพื่อกระตุ้นกระบวนการส่งถ่ายอิเล็กตรอนภายในคลอโรพลาส (Loh *et al*., 2002) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์จึงมีบทบาทสำคัญมากต่อการดำรงชีวิตของพืชในสภาพร่มเงา จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ที่สภาพร่มเงามีการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ทั้งนี้อาจเป็นการปรับตัวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงให้ใกล้เคียงกับสภาพกลางแจ้ง นอกจากนี้ พัฒนาการของใบก็เป็นส่วนสำคัญที่กำหนดปริมาณของรงควัตถุเช่นกัน โดยใบอ่อน มีการสร้างและพัฒนาของเนื้อเยื่อภายในกำลังขยายตัว ในระยะนี้การเปลี่ยนแปลงหน้าที่ของเซลล์ต้นกำเนิดจะค่อย ๆ ปรับเปลี่ยนโครงสร้างไปทำหน้าที่ต่าง ๆ ตามการสังเคราะห์โปรตีนในรหัสพันธุกรรม ส่งผลให้ปริมาณรงควัตถุจะน้อยกว่าในระยะอื่น ๆ เมื่อใบพัฒนาเต็มที่แล้วหรือใบเพสลาด การพัฒนาของใบจะเริ่มช้าลง การสร้างรงควัตถุเริ่มเต็มที่ ส่งผลให้มีค่าความเขียวของใบเพิ่มขึ้นจากระยะใบอ่อน การที่ใบกาแฟอยู่ในสภาพร่มเงาทำให้มีการสร้างปริมาณรงควัตถุเพิ่มขึ้นมากกว่าใบในสภาพกลางแจ้ง ในส่วนของใบแก่ การพัฒนาจะเริ่มเป็นไปในทางด้านลบตามอายุของใบ มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เกิดจากการผลิตฮอร์โมนเอทีลีนในใบเพื่อเตรียมตัวจะหลุดร่วงไปในที่สุด การเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ในสภาพแสงที่น้อยลง สามารถกล่าวได้ว่าแสงเป็นตัวแปรที่สำคัญในการเปลี่ยนแปลงนี้ ซึ่งในต้นกาแฟที่ทำการทดลองแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงด้านขนาดใบ พื้นที่ใบและพื้นที่ใบจำเพาะที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ การทดลองของ Karine และคณะ (2012) รายงานผลการทดลองการปลูกกาแฟอราบิก้าในสภาพกลางแจ้งและสภาพร่มเงาภายในโรงเรือน (สภาพร่มเงา 40 เปอร์เซ็นต์) พบว่า ใบในสภาพร่มเงามีพื้นที่ใบมากกว่าในสภาพกลางแจ้ง อีกทั้งการเปิดปากใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูงกว่าในสภาพกลางแจ้ง ดังนั้น ความเข้มแสงจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้า

การเปลี่ยนแปลงจำนวนปากใบอาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ เพราะปากใบเกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราการคายน้ำ หากพืชมีจำนวนปากใบน้อย กระบวนการและประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงอาจลดลง ซึ่งปัจจัยด้านพัฒนาการของใบส่งผลให้มีจำนวนปากใบต่อพื้นที่น้อยได้ (Wang *et al*., 2015) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปทรงของเซลล์ที่จะพัฒนาไปเป็นปากใบยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ดังนั้นพัฒนาการของใบจึงอาจเป็นตัวกำหนดขนาด รูปร่าง และความหนาแน่นของปากใบได้ (Colin and Mark, 1996: Schlüter *et al*., 2003) นอกจากนี้ ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมก็เป็นข้อจำกัดประการหนึ่งในการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของปากใบ (Lake *et al*., 2002; Elagoz *et al*., 2006) ได้เช่นกัน ผลจากการศึกษานี้มีสภาพแสงและพัฒนาการของใบเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ที่สภาพร่มเงามีความกว้างและความยาวปากใบ และความหนาแน่นปากใบ

(ตารางที่ 9) มีค่าน้อยกว่าในสภาพกลางแจ้ง สอดคล้องกับการทดลองของ Kufa และ Burkhardt (2011) รายงานว่าในสภาพร่มเงาใบกาแฟสามารถลดการสร้างปากใบลง เพื่อปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป นอกจากนี้พบการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกันในหลายพืชที่แสดงให้เห็นว่าสภาพร่มเงามีผลต่อการลดความหนาแน่นของปากใบ เช่น มะเขือเทศ (Gay and Hurd, 1975) และลาเวนเดอ (Petrova, 2012) ทั้งนี้ อาจกล่าวได้ว่าความหนาแน่นของปากใบอาจจะมีค่าน้อยลงเมื่อต้นกาแฟอยู่ในสภาพร่มเงาและอาจมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มแสงที่ได้รับ

2. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของใบ

การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงที่พืชได้รับส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของต้นพืช ซึ่งแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญในหลายกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในต้นพืช โดยความเข้มแสงหรือคุณภาพของแสง (ช่วงคลื่นแสง) ตลอดจนผลจากพลังงานแสง (อุณหภูมิ) ที่พืชได้รับล้วนส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นพืชทั้งสิ้น (Rattikanta *et.al.*, 2016) ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สภาพร่มเงาส่งผลต่ออัตราการคายน้ำ (ตารางที่ 12) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (ตารางที่ 9) มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าสภาพกลางแจ้ง แต่ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและประสิทธิภาพการใช้น้ำของต้นกาแฟ (ตารางที่ 11) กลับลดลงในสภาพร่มเงา แสดงให้เห็นว่าการปลูกกาแฟในสภาพร่มเงาเกินกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ อาจส่งผลให้กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงลดลงมาก สอดคล้องกับ การทดลองในต้นพืชชนิดอื่นซึ่งตอบสนองในทางเดียวกัน คือ อัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการคายน้ำอาจลดลงได้เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ (Ludlow and Powles, 1988; Morais *et al*., 2004) แต่ถ้าต้นกาแฟได้รับสภาพร่มเงาเป็นเวลานานและสามารถปรับตัวได้ในสภาพร่มเงา อาจส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงใกล้เคียงกับสภาพกลางแจ้งได้ เช่น การปลูกกาแฟอราบิก้าในสภาพร่มเงา 50 เปอร์เซ็นต์ (Kumar and Tieszen, 1980) และการปลูกกาแฟอราบิก้าภายใต้ร่มเงาของถั่วมะแฮะ (Pigeon pea) (Morais *et al*., 2004) ด้านพัฒนาการของใบเป็นสิ่งสำคัญเช่นกันในการแสดงออกของค่าทางสรีรวิทยา อาทิ ใบที่พัฒนาเต็มที่หรือใบเพสลาด มีการสร้างปริมาณรงควัตถุเริ่มคงที่ ส่งผลให้มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงและการคายน้ำสูงกว่าใบอ่อน (Veneklaas and Boogaagr, 1994) ตรงข้ามกับใบแก่ที่มีพัฒนาการไปในเชิงลบ คือ มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคโรทีนอยด์เพื่อเตรียมตัวหลุดร่วง ตลอดจนจากระยะพัฒนาการของใบที่ต่างกัน จะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของโครงสร้างใบในชั้น Mesophyll ได้ด้วย (Constable and Ranson, 1980; Araus *et al*., 1997) นอกจากนี้ สภาพร่มเงาสามารถส่งผลต่อ

การเข้าทำลายของโรคและแมลงศัตรูพืชด้วย ซึ่งจากการศึกษาของ นิธิ และคณะ (2543) เกี่ยวกับการระบาดของแมลงศัตรูกาแฟอราบิก้า พบว่า ที่สภาพร่มเงาปานกลาง (ร่มเงาน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์) เป็นต้นไป พบการระบาดของศัตรูกาแฟมากกว่าสภาพกลางแจ้ง

3. ความเป็นไปได้ในการปลูกต้นกาแฟโรบัสต้าในพื้นที่ลุ่มหรือมีการระบายน้ำไม่ดีและสภาพร่มเงา

จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ต้นกาแฟโรบัสต้าที่ได้รับสภาวะน้ำขังมีพัฒนาการทางการเจริญเติบโตช้าลง ร่วมกับการลดลงของค่าทางสรีรวิทยา และลดพัฒนาการของรากลง ทั้งนี้อาจเกิดจากกลไกการป้องกันตัวตามธรรมชาติเพื่อปรับตัวให้มีชีวิตรอดในสภาวะน้ำขังได้ แต่เมื่อพ้นจากสภาวะน้ำขังแล้ว การตอบสนองของต้นกล้ากาแฟจะเริ่มมีแนวโน้มไปในทิศทางที่ดีขึ้น ส่วนด้านสภาพร่มเงา (60 เปอร์เซ็นต์) ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าที่สภาพร่มเงาส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของใบ แต่ในทางกลับกัน ค่าทางสรีรวิทยาบางประการของสภาพกลางแจ้งมีค่าสูงกว่าชัดเจน ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะปริมาณความเข้มแสงที่ได้รับและการปรับตัวเพื่อเพิ่มพื้นที่รับแสงของต้นกาแฟ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ซึ่งการศึกษานี้ชี้ให้เห็นเพียงการตอบสนองและการปรับตัวของต้นกาแฟโรบัสต้าในสภาวะน้ำขังและสภาพร่มเงาในช่วงระยะการเจริญเติบโตเท่านั้น เพื่อนำไปใช้ประกอบการประเมินความเป็นไปได้ในการปลูกกาแฟโรบัสต้าเป็นพืชร่วมหรือปลูกในระบบการปลูกแบบวนเกษตร แต่การศึกษานี้ยังไม่แสดงถึงผลกระทบในระยะการให้ผลผลิต ดังนั้น การเลือกพื้นที่ปลูกร่วมกับการจัดการที่ความเหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการตัดสินใจปลูกกาแฟโรบัสต้า เนื่องจากการปลูกในพื้นที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตในระยะยาวของต้นกาแฟโรบัสต้าได้

บทที่ 5

สรุป

การตอบสนองของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าที่สภาวะน้ำขัง ส่งผลให้การเจริญเติบโตและการสะสมน้ำหนักแห้งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำแบบปกติ และหากได้รับสภาวะน้ำขังนาน 30 วัน จะส่งผลให้ค่าทางสรีรวิทยาลดลงต่ำกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ต้นกล้ากาแฟพันธุ์ชุมพร 2 มีแนวโน้มการตอบสนองต่อสภาวะน้ำขัง ตลอดจนมีการปรับตัวทางสรีรวิทยาให้มีชีวิตรอดได้ดีกว่าต้นกล้ากาแฟพันธุ์ชุมพร 84-4 และชุมพร 84-5 ส่วนความสามารถในการฟื้นตัวหลังจากได้รับสภาวะน้ำขังของต้นกล้ากาแฟมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน แต่พันธุ์ชุมพร 84-4 มีสามารถฟื้นตัวได้เร็วกว่าต้นกล้ากาแฟพันธุ์ชุมพร 2 และชุมพร 84-5 จากการตอบสนองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ต้นกาแฟพันธุ์ชุมพร 2 มีความเหมาะสมในการปลูกพื้นที่ปลูกที่อาจมีสภาวะน้ำขังหรือมีระบบการระบายน้ำไม่ดี

สภาพร่มเงา (60 เปอร์เซ็นต์) เป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้า หากต้นกาแฟได้รับสภาพร่มเงาเป็นเวลานานจะสามารถปรับตัวทางด้านสัณฐานและสรีรวิทยาได้ โดยการเพิ่มขนาดของใบ เพิ่มพื้นที่ใบ และเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์มากขึ้น เพื่อทดแทนกระบวนการสังเคราะห์แสงที่ลดลง พัฒนาการของใบก็เป็นตัวจำกัดการตอบสนองต่อสภาพร่มเงา โดยคู่ใบที่ 5 มีการตอบสนองต่อสภาพร่มเงาได้ดีที่สุด โดยมีพื้นที่ใบ ปริมาณรงควัตถุในใบ อัตราการสังเคราะห์แสง อัตราการคายน้ำ ตลอดจนประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคู่ใบอื่น ๆ คู่ใบที่ 5 จึงสามารถเป็นตัวบ่งชี้หรือตัวตัดสินใจว่าต้นกาแฟมีการปรับตัวให้สามารถเจริญเติบโตในสภาพร่มเงาได้ดี

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2560. กาแฟโรบัสต้าพันธุ์แนะนำของศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. เข้าถึงได้จาก: http://www.doa.go.th/hrc/chumphon/index.php (เข้าถึงเมื่อเมื่อ 10 เมษายน 2560).

กรมวิชาการเกษตร. 2561. ยุทธศาสตร์กาแฟ ปี 2560-2564. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. เข้าถึงได้จาก: www.doa.go.th/hort/images/jsn_is_thumbs/images/hort/strategiccoffee.pdf (เข้าถึงเมื่อ 12 ธันวาคม 2560).

กรมวิชาการเกษตร. 2561.ทางเลือกการปลูกพืชแซมยาง พืชร่วมยาง และกิจกรรมเสริมรายได้ของชาวสวนยาง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. เข้าถึงได้จาก: http://www.doa.go.th/share/attachment.php?aid=1193 (เข้าถึงเมื่อ 10 เมษายน 2560).

เกียรติศักดิ์ รักษ์วงศ์. 2541. การตอบสนองของต้นกล้าลองกองต่อช่วงน้ำขังและระยะฟื้นตัว. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค (ภาคใต้). 2560. ประวัติกาแฟและกาแฟในประเทศไทย. สำนักพัฒนาการวิจัยการเกษตร. เข้าถึงได้จาก: http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/coffee/history (เข้าถึงเมื่อ 5 เมษายน 2560).

นิธิ ไทยสันทัด, ธีระเดช พรมหวงศ์, นริศ ยิ้มแย้ม, วราพงษ์ บุญมา และ ประเสริฐ คำออน. 2543. การสำรวจปริมาณศัตรูพืชในระบบการปลูกกาแฟกลางแจ้งและภายใต้ร่มเงา. วารสารเกษตร 16: 65-77.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2561. E-Learning สรีรวิทยาของพืช; การสังเคราะห์แสง. เข้าถึงได้จาก: http://web.agri.cmu.ac.th/hort/course/359311/PPHY4_photosyn.htm (เข้าถึงเมื่อ 5 พฤษภาคม 2561).

พงศกร สุธีกาญจโนทัย และ ระวี เจียรวิภา. 2560. การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าในสภาพกลางแจ้งและพรางแสง. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55: สาขาพืช, สาขาสัตว์, สาขาสัตวแพทยศาสตร์, สาขาประมง, สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์ ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ. 31 มกราคม - 3 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2560: 97-103.

มนต์สรวง เรืองขนาบ, สุจินต์ แม้นเหมือน, กฤษดา สังข์สิงห์ และ ระวี เจียรวิภา. 2553. การตอบสนองทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.) ต่อสภาวะน้ำขัง. วารสารวิชาการเกษตร 28: 43-57.

รวี เสรฐภักดี. 2553. ต้นไม้ในภาวะถูกน้ำท่วมขังและแนวทางการแก้ไข. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. เข้าถึงได้จาก: http://www.ku.ac.th/flood/chap2.html. (เข้าถึงเมื่อ 5 เมษายน 2560).

ระวี เจียรวิภา และ ชนินทร์ ศิริขันตยกุล. 2558. การปรับตัวลักษณะฟีโนไทป์ของต้นกาแฟโรบัสต้าภายใต้สวนไม้ผลผสมผสาน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 46: 433-436.

ระวี เจียรวิภา บัญชา สมบูรณ์สุข และ ชนินทร์ ศิริขันตยกุล. 2558. รายงานการวิจัย การปรับตัวลักษณะทางฟีโนไทป์และศักยภาพการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสต้าที่ปลูกร่วมสวนยางพาราในจังหวัดสตูล. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศูนย์ภูมิอากาศ. 2560. Seasonal climate prediction with CPT. กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. เข้าถึงได้จาก: https://www.tmd.go.th/aboutus/history.php (เข้าถึงเมื่อ 5 เมษายน 2560).

สัญชัย พันธโชติ, ธีรชล ใจยาราช และ มะลิวัลย์ มุทุมล. 2553. ผลของน้ำขังที่มีต่อการเจริญติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของมะม่วง 2 พันธุ์ในสภาวะน้ำขัง. การประชุมพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 9 ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. 11 - 14 พฤษภาคม พ.ศ.2553: หน้า 112-119.

สายัณห์ สดุดี. 2534. สภาวะขาดน้ำในพืช. *ใน* สภาวะขาดน้ำในการผลิตพืช. หน้า 140-159. สงขลา: คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Araus, J.L., T. Amaro, Y. Zuhair and M.M. Nachit. 1997. Effect of leaf structure and water status on carbon isotope discrimination in field-grown durum wheat. Plant, Cell and Environment 20: 1484-1494.

Ashihara, H., A.M. Monteiro, F.M. Gillies and A. Crozier. 1996. Biosynthesis of caffeine in leaves of coffee. Plant Physiology 111: 747-753.

Bertolde, F.Z., A.A.F. Almeida, C.P. Pirovani, F.P. Gomes, D. Ahnert, V.C. Baligar and R.R. Valle. 2012. Physiological and biochemical responses of *Theobroma cacao* L. genotypes to flooding. Photosynthetica 50: 447-457.

Boyer, J. 1969. Etude experimentale des effects due regime d'humidite du soil sur la croissance vegetative, la floraison et la fructification des cafiers Robusta. Café, Cacao, The. 13: 187-200.

Colin, W. and F. Mark. 1996. The structure and development of stomata. *In* Stomata. (ed. M. Black and B. Charlwood), pp. 12-36. London: Chapman & Hall.

Constable, G.A. and H.M. Ranson. 1980. Effect of leaf position, expansion and age on photosynthesis, transpiration and water use of cotton. Australian Journal of Plant Physiology 7: 89-100.

Crawford, R.M.M. 1992. Oxygen availability as an ecological limit to plant distribution. Advances in Ecological Research 23: 93–185.

Da Matta, F.M. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. Field Crops Research 86: 99-114.

De Simone, O., K. Haase, E. Müller, W.J. Junk, G. Gonsior and W. Schmidt. 2002. Impact of root morphology on metabolism and oxygen distribution in roots and rhizosphere from two Central Amazon floodplain tree species. Functional Plant Biology 29: 1025–1035.

Drew, M.C. and J.M. Lynch. 1980. Soil anaerobiosis, microorganisms and root function. Annual Review of Phytopathology 18: 37-66.

Elagoz, V., S.S. Hahn and W.J. Manning. 2006. Acquired changes in stomatal characteristics in response to ozone during plant growth and leaf development of bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.) indicate phenotypic plasticity. Environmental Pollution 140: 395-405.

Fischer, R.A. and N.C. Turner. 1978. Plant productivity in arid and semiarid zone. Annual Review of Plant Physiology 29: 227-317.

Franks, P.J., P.L. Drake and D.J. Beerling. 2009. Plasticity in maximum stomatal conductance constrained by negative correlation between stomatal size and density: an analysis using *Eucalyptus globulus*. Plant, Cell and Environment 32: 1737-1748.

Gay, A.P. and R.G. Hurd. 1975. The influence of light on stomatal density of a tomato. New Phytologist 75: 37-46.

Gibbs, J. and H. Greenway. 2003. Mechanisms of anoxia tolerance in plant. I. growth, survival and anaerobic catabolism. Functional Plant Biology 30: 1-47.

Gil, P., B. Schaffer, S.M. Gutiérrez and C. Li. 2007. Effect of waterlogging on plant water status, leaf gas exchange and biomass of avocado (*Persea americana* Mill). Submitted and Presented at the VI World Avocado Congress, Viña del Mar, Chile, 11-12 November 2007: 90 pp.

Guerra-Guimarães, L., A. Vieira, I. Chaves, C. Pinheiro, V. Queiroz, J. Renaut and C.P. Ricardob. 2014. Effect of greenhouse conditions on the leaf apoplastic proteome of *Coffea arabica* plants. Journal of Proteomics 57: 1-12.

Karine, D.B., L.A. Wagner, C.A. Werner, C.C. Paulo, A.B.K.M. Gustavo, C.V.M. Samuel and F.M. Da Matta. 2012. Photosynthetic limitations in coffee plants are chiefly governed by diffusive factors. Trees 26: 459-468.

Kozlowski, T.T. and S.G. Pallardy 1984. Effects of flooding on water, carbohydrate and mineral relations. *In* Flooding and Plant Growth. (ed. T.T. Kozlowski), pp.165-193. New York. Academic Press.

Kozlowski, T.T. 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. Tree Physiology Monograph No.1. [Online] Available: http://www.heronpublishing.com/tp/monograph/kozlowski.pdf (access on 10 October 2017).

Kufa, T. and J. Burkhardt Stomatal. 2011. Characteristics in Arabica coffee germplasm accessions under contrasting environments at Jimma, Southwestern Ethiopia. International Journal of Botany 7: 63-72

Kumar, D. and L.L. Tieszen. 1980. Photosynthesis in *coffea arabica*, effects of light and temperature. Experimental Agriculture 16: 13-19.

Lamade, E., E. Setiyo and A. Purba 1998. Gas exchange and carbon allocation of oil palm seedlings submitted to water logging in interaction with N fertilizer application. *In* Processing 1998 International Oil Palm Conference, Sheraton Nusa Indah Bail, Indonesia, 23-35 September 1998. Commodity of the Past. pp.147-152.

Lake, J.A., F.I. Woodward and W.P. Quick. 2002. Long-distance CO_2 signaling in plants. Journal of Experimental Botany 53: 183-193.

Liao, C.T. and C.H. Lin. 2001. Physiology adaptation of crop plants to flooding stress. Proceedings of the National Science Council, Republic of China (Part B) 25: 148-157.

Loh, F.C.W., J.C. Grabosky and N.L. Bassuk. 2002. Using the SPAD 502 meter to assess chlorophyll and nitrogen content of benjamin fig and cottonwood leaves. HortTechnology 12: 682-686.

Ludlow, M.M. and S.B. Powles. 1988. Effects of photoinhibition induced by water stress on growth and yield of grain sorghum. *In* Ecology of Photosynthesis in Sun and Shade (ed. J.R Evans, S. von Caemmerer and W.W. Adams III) Vol. 15, pp. 179-194. Australia: CSIRO.

Morais, H., M.E. Medri, C.J. Marur, P.H. Caramori, A.M.A. Ribeiro and J.C. Gomes. 2004. Modifications on leaf anatomy of *Coffea arabica* caused by shade of pigeonpea (*Cajanus cajan*). Brazilian Archives of Biology and Technology 47: 863-871.

Osmond, C.B., V. Oja and A. Laisk. 1998. Regulation of carboxylation and photosynthetic oscillations during sun-shade acclimation in *Helianthus annuus* measured with a rapid-response gas exchange system. *In* Ecology of photosynthesis in sun and shade (ed. J.R Evans, S. von Caemmerer and W.W. Adams III) Vol. 15, pp. 239-251. Australia: CSIRO.

Parolin, P., O.D. Simone, K. Haase, D. Waldhoff, S. Rottenberger, U. Kuhn, J. Kesselmeier, W. Schmidt, M.T.F. Piedade and W.J. Junk. 2004. Central Amazon floodplain forests: tree survival in a pulsing system. The Botanical Review 70:357–380.

Petrova, Y. 2012. The effect of light intensity on the stomatal density of lavender, *Lavandula angustifolia*. Young Scientists Journal 12: 89-93.

Ratikanta, M., R.G.Humberto and I.S. Natalya. 2016. Autoecology and ecophysiology of woody shrubs and trees, concepts and applications. Oxford: WILEY Blackwell. 355 pp.

Salam, I., Y. Mohd, A. Mohamed, M. T. Senawi and B. Hashim. 2002. Salak: species diversity and understanding their growth performance as an understory crop plant. Malaysian Society of Plant Physiology. Towards sustainable

development in agroforestry: new paradigm for plant physiologists: proceedings of the 13th Malaysian Society of Plant Physiology Conference 2002: Malacca (Malaysia) 10-12 Sept 2002: 93-97.

Salgado, P.R., J.L. Favarin, R.A. Leandro and O.F.L. Filho. 2008. Total phenol concentrations in coffee tree leaves during fruit development. Scientia Agricola 65: 354-359.

Schlüter, U.B. and B. Furch. 1992. Morphologische, anatomische and physiologische Untersuchungen zur Überflutungstoleranz des Baumes Macrolobium acaciaefolium, charakteristisch für die Weiß- and Schwarzwasserüberschwemmungswälder bei Manaus, Amazonas. Amazoniana 12: 51–69.

Schlüter, U.B., B. Furch and C.A. Joly. 1993. Physiological and anatomical adaptations by young *Astrocaryum jauari* Mart. (Arecaceae) in periodically inundated biotopes of Central Amazonia. Biotropica 25: 384–396.

Schlüter, U.B., M. Muschak, D. Berger and T. Altmann. 2003. Photosynthetic performance of an Arabidopsis mutant with elevated stomatal density (sdd1-1) under different light regimes. Journal of Experimental Botany 54: 867–874.

Sena Gomes, A. R. and T.T. Kozlowski. 1985. The effects of flooding on water relations and growth of *Theobroma cacao* var. catongo seedlings. Journal of Horticultural Science 61: 265-276.

Sharkey, T.D. and K. Raschke. 1981. Effect of light quality on stomatal opening in leaves of *Xanthium strumarium* L. Plant Physiology 68: 1170-1174.

Silveira, H.R.O., K.R.D. Souza, J.D. Alves, M.O. Santos, C.A. Andrade and S.C. Bomfim. 2015. Gas exchange and carbohydrate partitioning in coffee seedlings under waterlogging. Ciência e Agrotecnologia 39: 138-146.

Snyman, H.A. 2004. A case study on *in situ* rooting profiles and water-use efficiency of cactus cears, *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*. Journal of the Professional Association for Cactus Development 15: 1-21.

Taiz, L. and E. Zeiger. 1991. Plant Physiology. Redwood City, Calif: Benjamin/Cummings Pub. Co: 690 pp.

Thomas, D.S. and D.W. Turner. 2001. Banana (*Musa* sp.) leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in response to soil drought, shading and lamina folding. Scientia Horticulturae 90: 93-108.

Veneklaas, E. and R. Boogaard. 1994. Leaf age-structure effects on plant water use and photosynthesis of two wheat cultivars. The New Phytologist 128: 331-337

Wang, S.G., S.S. Jia, D.Z. Sun, H.Y. Wang, F.F. Dong, H.X. Ma, R.L. Jing and G. Ma. 2015. Genetic basis of traits related to stomatal conductance in wheat cultivars in response to drought stress. Photosynthetica 53: 299-305.

Yurany, D., R. Mendes, J.C. Cuenca, and H.M. Romero. 2016. Physiological responses of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under different water soil conditions. Agronomía Colombiana 34: 163-171.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 ผลชุดของสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่ออัตราการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic rate) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (CP 2) ชุมพร 84-4 (CP 84-4) และชุมพร 84-5 (CP 84-5) เป็นเวลา 45 วัน

Varieties	Photosynthetic rate ($\mu molCO_2/m^2/s^1$)											
	Day 15			Mean[(2)]	Day 30			Mean[(2)]	Day 45			Mean[(2)]
	T0	T15	T30		T0	T15	T30		T0	T15	T30	
CP 2	5.84[ns]	2.22	2.38	3.92[ns]	6.25[ns]	3.32	0.75	3.44[ns]	6.21[ns]	3.75	2.60	4.19[ns]
CP 84-4	6.75	2.61	2.65	3.95	6.67	4.09	1.15	3.97	6.18	4.19	3.07	4.47
CP 84-5	6.43	2.40	1.96	3.87	6.53	4.21	0.83	3.86	6.11	4.45	2.61	4.39
Mean[(1)]	6.48A	2.66B	2.61B		6.48A	3.87B	0.91C		6.16A	4.13B	2.76C	
A		ns				ns				ns		
B		*				*				*		
A x B		ns				ns				ns		
C.V. (%)		2.97				3.21				5.25		

หมายเหตุ: [(1)] ค่าเฉลี่ยของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า 3 พันธุ์ (A)

[(2)] ค่าเฉลี่ยของจำนวนวันที่ได้รับสภาวะน้ำขัง (B)

[ns] ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันและมีตัวอักษรกำกับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 2 ผลของสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อการคายน้ำ (Transpiration rate) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าพันธุ์ชุมพร 2 (CP 2) ชุมพร 84-4 (CP 84-4) และชุมพร 84-5 (CP 84-5) เป็นเวลา 45 วัน

Varieties	Transpiration rate ($mmolH_2O/m^2/s$)											
	Day 15			Mean[(2)]	Day 30			Mean[(2)]	Day 45			Mean[(2)]
	T0	T15	T30		T0	T15	T30		T0	T15	T30	
CP 2	1.12[ns]	0.48	0.70	0.80[ns]	1.45[ns]	0.71	0.18	0.78[ns]	1.57a	1.68a	1.64a	1.63A
CP 84-4	1.35	0.64	0.54	0.84	1.46	1.07	0.19	0.91	1.41ab	0.92cd	1.02bc	1.12AB
CP 84-5	1.38	0.38	0.55	0.77	1.56	1.05	0.18	0.93	1.39ab	0.65cd	0.52d	0.85B
Mean[(1)]	1.31A	0.50B	0.60B		1.49A	0.94B	0.18C		1.46A	1.08B	1.06C	
A		ns				ns				*		
B		*				*				*		
A x B		Ns				ns				*		
C.V. (%)		3.05				2.77				2.17		

หมายเหตุ: [(1)] ค่าเฉลี่ยของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า 3 พันธุ์ (A)

[(2)] ค่าเฉลี่ยของจำนวนวันที่ได้รับสภาวะน้ำขัง (B)

[ns] ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันและมีตัวอักษรกำกับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 3 ผลของสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อการเปิดปากใบ (Stomatal conductant) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า พันธุ์ชุมพร 2 (CP 2) ชุมพร 84-4 (CP 84-4) และชุมพร 84-5 (CP 84-5) เป็นเวลา 45 วัน

Varieties	Stomatal conductant ($mmol/m^2/s$)											
	Day 15			Mean[(2)]	Day 30			Mean[(2)]	Day 45			Mean[(2)]
	T0	T15	T30		T0	T15	T30		T0	T15	T30	
CP 2	155.67[ns]	45.87	34.28	78.61[ns]	158.33[ns]	106.50	19.63	94.82[ns]	163.50[ns]	128.38	46.60	111.30[ns]
CP 84-4	136.17	45.00	50.08	77.08	150.83	121.00	18.75	96.86	176.33	138.83	68.33	127.80
CP 84-5	156.83	28.47	41.92	75.74	164.17	99.00	17.15	93.44	167.33	134.33	63.00	121.60
Mean[(1)]	149.60A	39.78B	42.09B		157.80A	108.80B	18.51C		169.10A	132.3B	59.31C	
A		ns				ns				ns		
B		*				*				*		
A x B		ns				ns				ns		
C.V. (%)		2.78				3.06				4.60		

หมายเหตุ: [(1)] ค่าเฉลี่ยของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า 3 พันธุ์ (A)

[(2)] ค่าเฉลี่ยของจำนวนวันที่ได้รับสภาวะน้ำขัง (B)

[ns] ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันและมีตัวอักษรกำกับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 4 ผลของสภาวะน้ำขัง 0 วัน (T0) 15 วัน (T15) และ 30 วัน (T30) ต่อศักย์ของน้ำในใบ (Leaf water potential) ของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า พันธุ์ชุมพร 2 (CP 2) ชุมพร 84-4 (CP 84-4) และชุมพร 84-5 (CP 84-5) เป็นเวลา 45 วัน

Varieties	Leaf water potential (MPa)											
	Day 15			Mean[(2)]	Day 30			Mean[(2)]	Day 45			Mean[(2)]
	T0	T15	T30		T0	T15	T30		T0	T15	T30	
CP 2	-1.63[ns]	-2.37	-2.60	-2.20[ns]	-1.30[ns]	-2.20	-2.67	-2.06[ns]	-1.37[ns]	-2.13	-2.47	-1.99[ns]
CP 84-4	-1.68	-2.33	-2.63	-2.21	-1.77	-2.33	-2.67	-2.13	-1.50	-2.13	-2.47	-2.03
CP 84-5	-1.40	-2.50	-2.60	-2.17	-1.47	-2.27	-2.67	-2.26	-1.67	-2.23	-2.30	-2.07
Mean[(1)]	-1.57A	-2.40B	-2.61C		-1.51A	-2.27B	-2.67C		-1.51A	-2.17B	-2.41C	
A		ns				ns				ns		
B		*				*				*		
A x B		ns				ns				ns		
C.V. (%)		3.08				2.58				5.25		

หมายเหตุ: [(1)] ค่าเฉลี่ยของต้นกล้ากาแฟโรบัสต้า 3 พันธุ์ (A)

[(2)] ค่าเฉลี่ยของจำนวนวันที่ได้รับสภาวะน้ำขัง (B)

[ns] ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวและสดมภ์เดียวกันและมีตัวอักษรกำกับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายณัฐวิทย์ ญาณพิสิฐกุล

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5810620039

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2558

ทุนการศึกษาที่ได้รับระหว่างเรียน

ทุนอุดหนุนงานวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัย

ณัฐวิทย์ ญาณพิสิฐกุล และ ระวี เจียรวิภา. 2560. เทคนิคการประเมินพัฒนาการของรากต้นกล้ายางพาราในไรโซบอกโดยการประมวลภาพถ่ายดิจิตอล. แก่นเกษตร 45 (พิเศษ 1) : 1136-1141.

ณัฐวิทย์ ญาณพิสิฐกุล, สุรชาติ เพชรแก้ว และ ระวี เจียรวิภา. 2561 การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานและสรีรวิทยาภายใต้สภาวะร่มเงาและตำแหน่งคู่ใบของใบกาแฟโรบัสต้า. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (อยู่ระหว่างการตีพิมพ์).